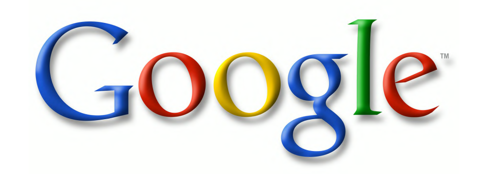



COUNTWAY LIBRARY
HC 21GA F





BEITRÄGE

ZUR

PHYSIOLOGIE DES SEHORGANS

VON

Dr. GEORG MEISSNER.

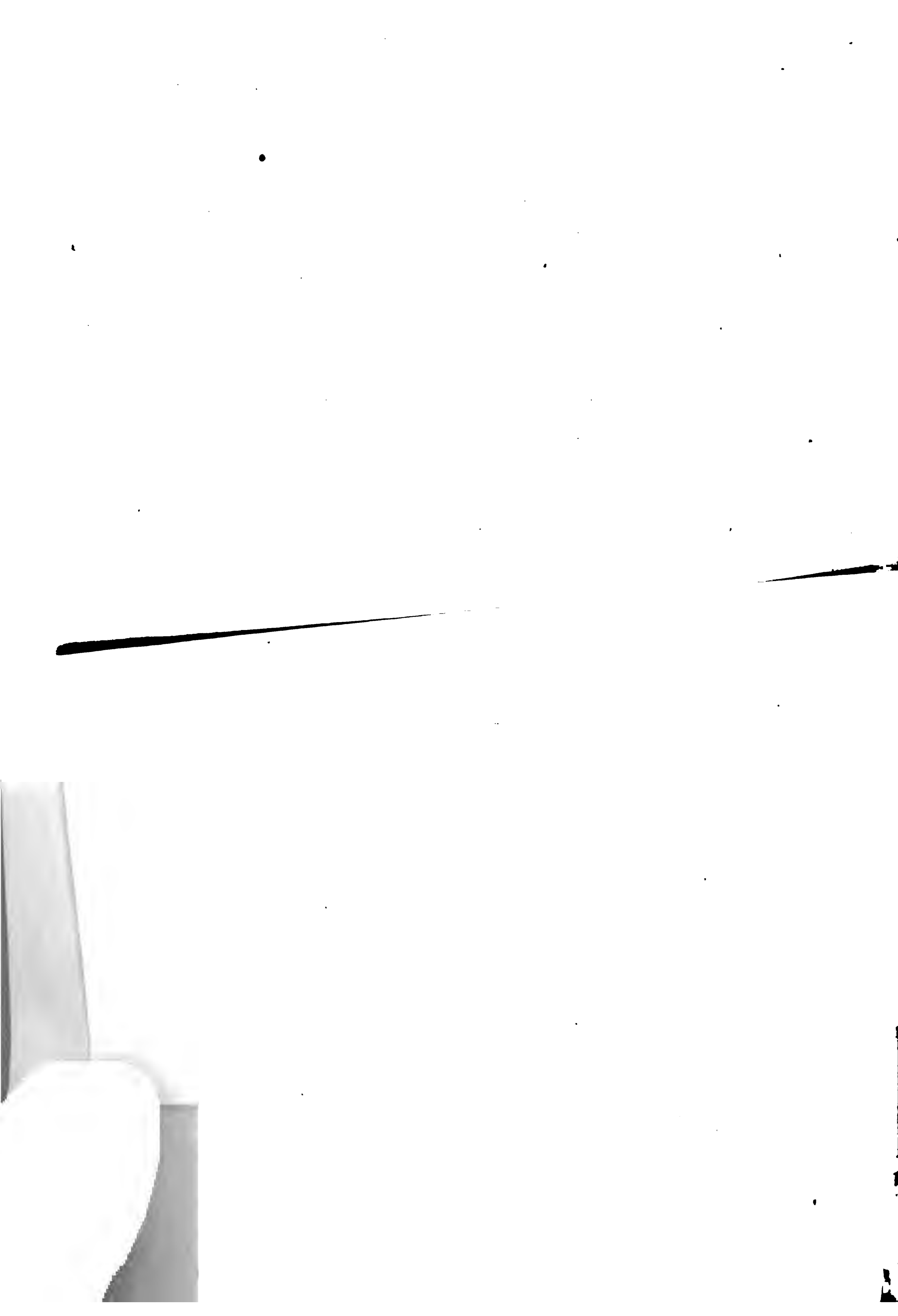
MIT VIER LITHOGRAPHIRTEN TAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.
1854.

PHYSIOLOGIE DES SEHORGANS.

Druckfehler.

Seite 28	Zeile 5 von oben Zeile 10 von unten	statt $\frac{CF}{AC}$	ist zu setzen: $\frac{AC}{CF}$.
Seite 29	Zeile 7 von unten	statt $\frac{CF}{AC}$	ist zu setzen: $\frac{AC}{CF}$.
Seite 29	Zeile 7 von oben Zeile 5 von unten	statt $\frac{CP}{AC}$	ist zu setzen: $\frac{AC}{CP}$.



PHYSIOLOGIE DES SEHORGANS.

BEITRÄGE

ZUR

PHYSIOLOGIE DES SEHORGANS.

VON

DR. GEORG MEISSNER.

MIT VIER LITHOGRAPHIRTEN TAFELN.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1854.

HERRN PROFESSOR

W. BAUM

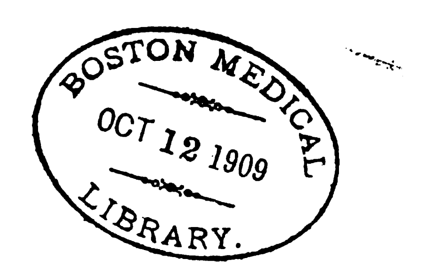
IN GÖTTINGEN

IN HERZLICHER LIEBE UND DANKBARKEIT

ZUGEEIGNET

v. V.

7968



Franciscus Aguilonius führte die Bezeichnung „Horopter“ in die Physiologie des Gesichtssinnes für einen Begriff ein, welcher im Laufe der Zeit nicht ganz genau und unverändert derselbe geblieben ist, so dass es zur Würdigung der ursprünglichen Bedeutung jenes Wortes nothwendig ist, an des Aguilonius eigne Worte zu erinnern.

In dem zweiten Buche seines grossen Werkes über Optik * heisst der zehnte Satz: *Horopter recta est linea per axium opticorum congressionem ei, quae centra visuum conectit, parallelῶs incedens.* Von dieser durch den fixirten Punkt gelegten graden Linie sagt er dann weiter: *Hanc ab propriae vocis penuriam Horopterem placuit nuncupare, ab insigni proprietate, quae pollet, nemini, quantum animadvertere licuit, hactenus perspecta.* Ihre angedeuteten wichtigen Eigenschaften finden sich zerstreuet an verschiedenen Stellen des Buches auseinandergesetzt; offenbar aber enthalten die zunächst folgenden Worte Dasjenige, was vor Allem mit jenem Namen bezeichnet werden sollte, um dessenwillen derselbe ursprünglich ersonnen worden war. Sie lauten: *Haec linea visum finit ac terminat; quaecunque enim conspectui objiciuntur, si quidem in illo sunt plano, quod per axes opticos transit, in horoptere apparent, quoniam is neque propius radios opticos definiri, neque longius praetervehi sinit, sed omnium rerum in plano illo objectarum apparentia loca in se recipit.*

Später dann, im 49. Artikel des zweiten Buches, sucht er mit der Bemerkung, dass es nicht leicht sei, einen Beweis *a priori* dafür zu liefern, nachzuweisen, dass: *Quidquid conspicitur in eodem cum axibus existens plano, id omne in horoptere verum vel apparentem locum habet,* und, den folgenden Artikel: *Quaecunque extra axium op-*

---

* *Francisci Aguilonii, Opticorum libri sex. Antverpiae MDCXIII.*

ticorum regionem excurrunt, ea omnia in horopteris plano cernuntur, eo loci, ubi illud radii producti attingunt.

Während an den citirten Stellen demnach lediglich eine Bedeutung des Horopters für die Raumanschauung überhaupt, für die Localisation der Gesichtseindrücke im Raume besprochen wird, enthält das „*Fallaciae aspectus circa locum*“ betitelte Kapitel des vierten Buches eine Reihe von Sätzen, in welchen die Lehre vom Einfachsehen und Doppelsehen und die Bedeutung des Horopters in Bezug hierauf entwickelt wird. *Quidquid in horoptere existit,* heisst der 118. Artikel des vierten Buches, *id proprio apparet loco; at quod proprio, id profecto uno loco cernitur, igitur quodcunque in horoptere existit, uno spectatur loco. Id proprio videtur loco, quod ibi est, ubi apparet; sed per* 49. *propositionem omne, quod videtur, seu verum seu apparentem locum in horoptere obtinet; si itaque in eodem horoptere res ipsa est, quae videtur, ut supponitur, proprius erit is locus, ubi spectatur id, quod in horoptere existit.* Endlich lautet der folgende Artikel: *Res una extra horopterem constituta utroque visu geminis locis distincta apparet.*

Aus den angeführten Sätzen, deren weitere Ausführung beim AGUILONIUS selbst nachzusehen ist, und aus der Art ihrer Entwicklung geht deutlich hervor, dass AGUILONIUS das Wort Horopter keineswegs ursprünglich für die Lehre vom Einfach- und Doppelsehen schuf, um damit alle die Punkte zu begreifen, welche gleichzeitig mit dem fixirten Punkte einfach gesehen werden; sondern dass zunächst allgemeine Principien der Raumanschauung durch den Gesichtssinn ihm die Existenz einer solchen idealen Horopterlinie zu postuliren schienen, welche keine andere Gestalt, als die einer graden Linie haben konnte*, und dass er, hiervon ausgehend, nun auf rein aprioristischem Wege zu dem Schlusse kam, dass alle Punkte, welche in jener Linie selbst liegen, einfach (*uno loco*), alle ausserhalb derselben befindliche dagegen doppelt (*geminis locis*) erscheinen müssen. Nicht die Gestalt seiner Horopterlinie, als grade Linie, sondern ihre ursprüngliche allgemeinere Bedeutung, welche selbst erst jene bedingte, involvirte dem AGUILONIUS die Bedeutsamkeit des Horopters für das Einfachsehen.

In diesem genuinen Sinne finden wir die Bezeichnung Horopter bei allen späteren Autoren nicht mehr gebraucht, indem anfangs bei denjenigen, welche der Lehre des AGUILONIUS folgten, die primäre Bedeutung nur in den Hintergrund trat und hauptsächlich diejenige für

* Hierüber unten.

das Einfachsehen hervorgehoben wurde, und später durch Joh. Müller die letztere als die primäre, als die alleinige hingestellt wurde, und von nun an der Horopter nur der Complex der gleichzeitig mit dem fixirten einfach gesehenen Punkte ist.

Gewissermaassen unabhängig von der Geschichte der Bedeutung des Wortes ist die der Gestalt der Horopterlinie, obwohl das Abweichen hierin von der Ansicht des Aguilonius schon die Veränderung, welche die Bedeutung allmählich erlitt, beurkundet. Bevor Joh. Müller die Lehre vom binocularen Sehen einer genauen Untersuchung unterwarf, begnügte man sich theils mit dem, was Aguilonius darüber gesagt hatte, theils fanden die Erscheinungen der Doppelbilder überhaupt eine geringe Berücksichtigung. So trug Porterfield * im Wesentlichen die Lehre des Aguilonius vor. Nicht deutlich geht aus den Worten Purkinje's ** hervor, ob derselbe den fixirten Punkt für den einzigen einfach gesehenen gehalten, — er nennt den Punkt der Convergenz der Sehaxen den einzigen beiden Gesichtsfeldern gemeinschaftlichen, fügt dann aber sogleich hinzu, dass alle übrigen vor oder hinter dem Durchschnittspunkte der Axen gelegenen doppelt erscheinen müssen, — oder ob er etwa einen elliptisch gestalteten Horopter annahm, indem kurz darauf allerdings von der so gestalteten Profillinie einer Fläche die Rede ist, deren gesammte Punkte gleiche perspectivische Entfernung mit dem fixirten Punkte vom Auge haben, deren etwaige Beziehung zum Einfachsehen aber nicht angegeben wird.

Der Vergessenheit und den Irrthümern, welche sich eingeschlichen hatten, entriss Joh. Müller *** den in Frage stehenden Abschnitt der Physiologie des Sehorgans; er betrat einen neuen bisher unbeachteten Weg, indem er, nach Beseitigung des grossen Irrthums Gall's und Anderer, worin ihm Rudolphi schon vorausgegangen war, als gäbe es überhaupt kein binoculares Sehen, zuerst experimentell nachwies, „dass in beiden Augen sich bestimmte Stellen entsprechen, die, wenn sie gedrückt werden, nur ein und dieselbe Druckfigur, an demselben Orte des subjectiven Sehfeldes gelegen, bieten; und dass ausserhalb dieser Stellen, welche er identische nannte, wenn beide Augen afficirt werden, örtlich verschiedene Bilder erscheinen, deren Entfernung im subjectiven Sehfelde um so weiter ist, je grösser in einem Auge die Entfernung der Druckstelle von derjenigen Stelle,

* *A treatise on the eye. II. Book. V.*

** Neue Beiträge zur Kenntniss des Sehens in subjectiver Hinsicht. p. 25.

*** Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns. 1826.

mit welcher die Druckstelle des andern Auges identisch ist.“ Die Anordnung der identischen Stellen ist eine solche, dass alle Theile in einem gewissen Meridian und in bestimmter Entfernung vom Mittelpunkte des Auges gelegen identisch sind mit denjenigen Theilen der Netzhaut des anderen Auges, welche in demselben Meridian und derselben Entfernung vom Mittelpunkte der Netzhaut gelegen sind. Um nun auf diese Grundlage fussend die Gesetze für die objectiven Gesichtserscheinungen beim binocularen Sehen zu ermitteln, ging Müller von der Voraussetzung aus, dass die Krümmung der Netzhaut in der Ebene der beiden Sehaxen auf der äusseren und inneren Hälfte, vom Punkte des deutlichsten Sehens aus gerechnet, gleich ist, und beispielsweise eine sphärische Krümmung für beide Netzhäute annehmend fand er auf dem Wege der geometrischen Construction, dass, wenn die Bilder eines Objects, um räumlich nicht getrennt gesehen zu werden, auf solche Stellen der Netzhäute fallen müssen, welche gleichen Winkelabstand von den beiden Mittelpunkten auf homologen Seiten haben, nur solche Punkte gleichzeitig mit dem fixirten Punkte einfach gesehen werden können, die in der Peripherie eines Kreises liegen, welcher durch den fixirten Punkt und die Mittelpunkte der beiden Linsen bestimmt ist. Auf diesen Kreis übertrug Müller den Namen Horopter. Obwohl nun Aguilonius' Horopter eine grade Linie war, so konnte man dennoch nicht, wie es geschehen ist, deshalb allein in der Ansicht des Letzteren einen falschen dem Worte beigelegten Sinn sehen; vielmehr hätte es einer Untersuchung bedurft, um zu sehen, ob sich mit der veränderten Gestalt der Linie die ursprüngliche von Aguilonius beabsichtigte Bedeutung vereinigen liess, oder ob diese selbst und die des Müller'schen Horopters verschieden sind. Gegen den Schluss, durch welchen Aguilonius beweist, dass sein Horopter zugleich alle einfach gesehenen Punkte begreift, ist gewiss Nichts einzuwenden, und es wäre also zu untersuchen gewesen, ob die Grundanschauungen, welche ihn zur Annahme einer graden Linie für seinen Horopter bestimmten, die richtigen waren, oder ob auch von dieser Seite her ein Kreis in der genannten Weise die richtige Gestalt für den Horopter gewesen wäre, auf welche dann dieselbe Schlussfolge hinsichtlich der Bedeutung für das Einfach- und Doppelsehen, wie auf die grade Linie, Anwendung gefunden hätte. Ich werde später hierauf zurückkommen.

Den Versuchen Müller's sowie seiner Ansicht und Beweisführung hinsichtlich der Gestalt des Horopters sind alle späteren Schriftsteller, die den fraglichen Gegenstand erörterten, gefolgt, so fern sie sich darauf beschränkt haben, obwohl die Lehre keineswegs als ab-

geschlossen angesehen werden konnte. Sowohl in den Lehrbüchern der Physiologie als in den speciell die Lehre vom Sehen behandelnden Schriften begegnen wir dem Lehrsatze MÜLLER's, welchen VOLKMANN * nur dahin modificirte, dass der Horopterkreis nicht durch die Mittelpunkte der Linsen, sondern durch die beiden Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen bestimmt werde, was indessen die concrete Gestalt eines Horopters kaum verändert.

Die vollkommene Gleichheit in der Krümmung eines horizontalen mittlern Netzhautdurchschnitts auf der äusseren und inneren Seite vom Mittelpunkte ist die Voraussetzung, auf welche sich der Lehrsatz MÜLLER's stützt, welche allerdings in den genauen Messungen KRAUSE's ** einen Beleg für ihre Richtigkeit findet, so fern KRAUSE nachwies, dass die Retina in jenem Durchschnitt eine elliptische Krümmung beschreibt, deren grosse Axe in dem grössten Querdurchmesser, deren kleine Axe in der optischen Axe (innere Augenaxe nach KRAUSE) liegt.

BAUM in Göttingen war meines Wissen der Erste, welchem sich Zweifel an der Richtigkeit der Annahme eines (in der bekannten Weise) kreisförmigen Horopters aufdrängten. Die durch VON AMMON *** so benannte und beschriebene *Protuberantia scleroticalis* ist eine im Auge des Foetus bis zum 8. Monate sehr deutlich bemerkliche Ausweitung anfangs der Sclerotica allein, dann auch der Retina † am äusseren hinteren Unfange, auf der äusseren Seite vom gelben Flecke, welche bei der blossen Betrachtung wenigstens eines horizontalen mittleren Durchschnitts (Messungen habe ich nicht anzuführen) eine Verschiedenheit der Krümmung der äusseren und inneren Hälfte zu bedingen scheint, so zwar, dass die äussere Hälfte der Netzhaut einen weiteren Bogen zu beschreiben scheint, als die innere. Die *Protuberantia scleroticalis* schwindet freilich als solche mit der weiteren Entwicklung, ihr Vorhandensein in frühen Entwicklungsstadien des Auges konnte aber wohl die Vermuthung rege machen, dass vielleicht eine durch sie bedingte Krümmungsverschiedenheit der äusseren und inneren Hälfte der Retina noch im ausgebildeten Auge vorhanden sein möchte; eine solche Ungleichheit braucht aber nur sehr gering zu sein, es braucht z. B. die kleine Axe der Ellipse nur um sehr Weniges nach Aussen vom Mittelpunkte des gelben Fleckes auf die Re-

* Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.

** MECKELS' Archiv. Jahrgang 1832. p. 111.

*** Zeitschrift für Ophthalmologie von VON AMMON. II. pag. 503.

† Erst allmählich legt sich die Retina fest an die Sclerotica an.

tina zu treffen, um schon von wesentlichem Einflusse auf die Gestalt des Horopters zu sein, da die Entfernungen der Retinabilder zweier Punkte von einander fast verschwindend klein sind, gegen selbst die geringsten Entfernungen, in welchen sich diese Objecte vom Auge befinden.

Baum stellte Versuche an und fand seine Vermuthung in Bezug auf die Gestalt des Horopters bestätigt; bisher aber sind weder diese Versuche noch die darauf gegründete Ansicht, abgesehen von einem schon vor vielen Jahren darüber in Danzig und einem später in Göttingen gehaltenen Vortrage, veröffentlicht. Vielfache Unterhaltung und Besprechung über den fraglichen Gegenstand mit meinem hochverehrten Freunde und Lehrer, so wie die Wiederholung seiner Versuche veranlassten auch mich zu einer nun lange Zeit hindurch geführten Untersuchung über das Einfach- und Doppelsehen im weiteren Umfange und zu einer Reihe von Versuchen, welche ich in diesen Blättern mittheilen will, und ich handle dem Wunsche Baum's gemäss, wenn ich die Angabe seiner Versuche am passenden Orte damit verbinde.

1.

Ueberblickt man Das, was über den Horopter vorliegt, so müssen zwei Punkte auffallend erscheinen: zunächst nämlich, dass man sich mit dem Beweise für den Lehrsatz Müller's auf dem Wege der geometrischen Construction begnügte und denselben nicht auch auf experimentellem Wege, durch Versuche mit objectiven Gesichtserscheinungen, welche durch die subjectiven nicht ersetzt werden können, zu bekräftigen suchte; sodann aber, dass fast alle Betrachtungen und Untersuchungen, so wie die objectiven Versuche, die überhaupt über das Doppelsehen angestellt wurden, vom Aguilonius an bis in die neueste Zeit, sich nur mit einem Horopter in der Ebene der Sehaxen beschäftigten. Stillschweigend wurde freilich wohl immer die Voraussetzung gemacht, dass es auch oberhalb und unterhalb dieser Ebene Punkte giebt, welche gleichzeitig mit dem fixirten einfach gesehen werden, aber abgesehen von einigen mehr vermuthungsweise ausgesprochenen Ansichten über eine Horopter*fläche* werden positive und specielle Angaben, Versuche zur Ermittelung der Lage jener Punkte, der Gestalt dieser Fläche vermisst. Tourtual * meinte, die Horopterfläche, welche er Identitätsfläche, so wie den bekannten Kreis Identitäts-

* Tourtual, die Sinne des Menschen etc. pag. 236.

linie nannnte, sei eine krumme Fläche, welche „gleichsam eine mittlere Form zwischen einer Kugel und einem Cylinder bildete."

VOLKMANN * sagt, dass nach denselben Grundsätzen, aus welchen die Kreisform für die Horopterlinie in der Ebene der Sehaxen folge, alle Punkte einfach gesehen werden müssten, welche auf der Oberfläche einer Kugel liegen, deren Aequator jener Kreis ist.

LUDWIG ** hat neuerlich zuerst die bestimmte Anforderung der Ermittelung einer Horopterfläche gestellt, und auch er schliesst, dass, wenn die Anordnung der identischen Stellen in vertikaler Richtung derjenigen in horizontaler Richtung entsprechend sei, die Horopterfläche eine Kugelschale vorstellen würde.

Ich verschiebe es auf einen späteren Abschnitt, zu untersuchen, in wie weit eine solche Schlussfolgerung gerechtfertigt war; in dem Folgenden aber werde ich den Begriff des Horopters, wenn auch nicht modificiren, doch in dem Sinne erweitern müssen, als ich damit nicht eine Linie, sondern überhaupt den Theil des Raumes bezeichne, in welchem diejenigen Punkte liegen, welche gleichzeitig mit dem fixirten einfach gesehen werden, und indem es vorläufig gelten mag, was ganz im Allgemeinen nicht richtig ist, dass der Horopter nur in der dritten Dimension keine Ausdehnung hat, ist es also eine irgend wie gestaltete und gelegene Fläche, in welcher der jeweilig fixirte Punkt liegt, deren Beschaffenheit zu ermitteln ist. Der Mittelpunkt dieses einfach gesehenen Theiles des Raumes, welcher für den Beobachter immer nur höchstens eine Höhendimension und eine Breitendimension haben kann, ist der fixirte Punkt, und wenn man sich diese Fläche nach ihren beiden Dimensionen durch einen durch den fixirten Punkt gehenden horizontalen und verticalen Schnitt getheilt denkt, so ist die horizontale Durchschnittslinie der MÜLLER'sche Horopter, und unter der Voraussetzung, dass die zu ermittelnde Fläche entweder eben oder regelmässig gekrümmt ist, wird die Kenntniss der horizontalen und verticalen Durchschnittslinie genügende Auskunft über die Beschaffenheit der Fläche selbst geben. Ich würde späteren Ergebnissen der Versuche vorgreifen müssen, wenn ich hier die Gründe angeben wollte, weshalb die Untersuchung der verticalen Horopterlinie, wie ich die mittlere verticale Durchschnittslinie nennen will, derjenigen der horizontalen vorausgehen muss. Zuvor jedoch muss ich die Erklärung einiger Bezeichnungen angeben, deren ich mich im Folgenden der Kürze halber bedienen werde. Ihre Zahl ist

---

* Neue Beiträge u. s. w.

** Lehrbuch der Physiologie, pag. 247

so gering, als es möglich war; ganz zu entbehren aber waren, wie sich leicht herausstellen wird, solche stehende und leider keineswegs immer zusagende und passende Benennungen nicht, wenn die weitläufigsten Umschreibungen und Wiederholungen vermieden werden sollten.

Eine durch die beiden Sehaxen gelegte Ebene, in welcher also stets der fixirte Punkt liegt, nenne ich mit Baum die Visirebene.

Der Punkt des deutlichsten Sehens, auf welchem sich in jedem Auge das Bild des fixirten Punktes entwirft, heisse der physiologische oder schlechtweg der Mittelpunkt der Retina.

Die Visirebene schneidet jede Netzhaut in einer durch den Mittelpunkt gehenden Linie, welche ich den horizontalen Meridian nenne. Diese Linie ist unabhängig von Stellen von bestimmter physiologischer Dignität der Netzhaut; nur der Mittelpunkt liegt immer in derselben, während bei etwa vorkommenden Drehungen der Netzhaut um die optische Axe * jene Linie in verschiedenen Augenblicken durch verschiedene Reihen von Punkten der Retina verlaufen würde. Eine durch die Sehaxe senkrecht zur Visirebene gelegte Ebene schneidet die Netzhaut in dem verticalen Meridiane, für welchen dieselbe Unabhängigkeit von Stellen bestimmter physiologischer Dignität gilt, wie für den horizontalen Meridian.

Eine die beiden Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen verbindende grade Linie ist die Grundlinie; und endlich möge eine durch den Mittelpunkt der Grundlinie gehende zur Visirebene und zur Grundlinie senkrecht stehende Ebene die verticale Medianebene heissen.

2.

In Fig. 1. bedeutet AB die Grundlinie, C deren Mitte; CP ist die Durchschnittslinie der verticalen Medianebene mit der Visirebene. Der Punkt F wird fixirt. Dann wird der Punkt P, dessen Entfernung oder Tiefenwerth CP grösser ist, als der des fixirten Punktes, doppelt erscheinen, und zwar werden die Doppelbilder von P bei jeder beliebigen Grösse der Linie CP, vorausgesetzt nur, dass dieselbe stets länger ist, als CF, sich so verhalten, dass das links vom fixirten Punkte erscheinende Bild dem linken Auge, das rechts erscheinende dem rechten Auge angehört. Ich will diese Doppelbilder rechtsei-

* Ueber das streng genommen Unrichtige dieses Ausdrucks siehe unten.

tige nennen. *F* ist vorläufig der einzige bekannte und in Betracht kommende Punkt des Horopters, und alle rechtseitigen Doppelbilder entsprechen also einem Object, welches hinter dem Horopter liegt. Auf die Retina übertragen heisst dies, dass die Retinabilder aller Punkte, welche hinter dem Horopter liegen, in jedem Auge stets auf der inneren (Nasen-) Seite von demjenigen Punkte der Netzhaut entworfen werden, welcher dem dabei in Betracht kommenden Punkte des Horopters entspricht; bei vorläufig alleiniger Berücksichtigung der Visirebene und der verticalen Medianebene giebt es nur einen Punkt des Horopters, welchem die beiden Mittelpunkte der Netzhäute entsprechen.

Die Frage nach dem Orte der Doppelbilder wird uns später erst beschäftigen, und hier ist nur die Frage nach der (scheinbaren) Entfernung jedes Doppelbildes von dem fixirten Punkte oder der Doppelbilder von einander zu beantworten. Jedes Auge sieht den Punkt *P* irgendwo auf der ihm angehörigen Richtungslinie *AP* und *BP* liegen. Jede grade Linie nun, welche einen Punkt der Linie *AP* mit *F* verbindet, entwirft ein Bild auf der Netzhaut, dessen Länge gleich ist der Länge des Bildes einer Linie *FP*: wenn also kein weiteres bestimmendes Moment vorläge, so würde jede zwischen *F* und einem Punkte der Linie *AP* gezogene Linie, sobald dieser Punkt nur in allen Fällen in ein und demselben Verhältnisse zu *F* steht, ein verwendbares Mass für die Entfernung des Doppelbildes vom fixirten Punkte sein können. So hat Ludwig * ein anderes Mass für diese Entfernung angegeben, als sonst angenommen ist.

Es liegen indessen bestimmte Gründe vor, welche sich im Verlaufe des Folgenden herausstellen werden, von den verschiedenen möglichen Linien diejenige zu wählen, welche parallel der Grundlinie durch den fixirten Punkt verläuft, um auf dieser die Entfernung der Doppelbilder vom fixirten Punkte und von einander zu messen, wie es auch meistens geschehen ist. Es ist demnach *FD* die Entfernung jedes Doppelbildes des Punktes *P* von *F* oder ein Ausdruck für die Entfernung der beiden entsprechenden Retinabilder von den Mittelpunkten. Die Länge der Linie *DD* ist das Mass für die Entfernung zwischen den beiden Doppelbildern. Noch ein Mal muss ich hervorheben, dass es erst später in Frage kommen wird, ob die Punkte *DD* auch für die Oerter der Doppelbilder im Raume angesehen werden können; zunächst soll nach ihnen nur die Entfernung vom fixirten Punkte, d. i. ihr Breitenwerth bestimmt

* Lehrbuch der Physiologie, pag. 248.

werden. Diese Entfernung nimmt ab, wenn FP kleiner, nimmt zu, wenn FP grösser wird, und zwar ist

$$\frac{FD}{AC} = \frac{FP}{CP} \text{ oder } \frac{DD}{AB} = \frac{FP}{CP}.$$

Ist $CP =$ unendlich und CF verschwindend klein gegen CP, so dass auch $FP =$ unendlich zu setzen ist, so ist $DD = AB$. Dies ist leicht zu sehen: liegt der indirect gesehene Punkt unendlich weit entfernt, der fixirte sehr nahe, so ist die Entfernung der Doppelbilder von einander = der Länge der Grundlinie und dies ist die grösste Entfernung, welche rechtseitige Doppelbilder von einander haben können. Ebenso ist leicht durch den Versuch zu bestätigen, dass, wenn $FP =$ der Entfernung des fixirten Punktes ist, $DD =$ der Hälfte der Grundlinie ist. Die Grundlinie AB kann gleich der Entfernung der Mittelpunkte der Pupillen bei parallel gerichteten Sehaxen angenommen werden, und die Entfernung der Doppelbilder von einander kann mittelst eines in der Entfernung des fixirten Punktes gehaltenen Massstabes gemessen werden (Baum).

Befindet sich der indirect gesehene Punkt vor dem fixirten, z. B. in P', so verhalten sich die Doppelbilder bei jeder Länge der Linie CP' so, dass das linke Doppelbild dem rechten Auge, das rechte dem linken Auge angehört; ich nenne diese Doppelbilder bezüglich ihrer Lage im Gegensatze zu den rechtseitigen verkehrte Doppelbilder. Sie rühren immer von einem vor dem Horopter gelegenen Objecte her, dessen Retinabild in jedem Auge auf der äusseren (Schläfen-) Seite des dem in Betracht kommenden Horopter-Punkte entsprechenden Netzhautpunktes liegt, welcher, wie gesagt, vorläufig nur der Mittelpunkt der Netzhaut ist. Gleichfalls ohne auf die Bestimmung eines Orts der verkehrten Doppelbilder einzugehen, messen wir die Entfernung derselben von einander auf dieselbe Weise, wie die der rechtseitigen Doppelbilder, Eine Linie FP' erscheint jedem Auge so lang, wie die in angegebener Weise gelegte Linie FE, und es ist die Entfernung zwischen den beiden Punkten EE das Maass für die Entfernung der Doppelbilder von P'. Diese Entfernung wird kleiner, je näher P' dem fixirten Punkte rückt, grösser, je kleiner CP', der Tiefenwerth des indirect gesehenen Punktes, wird: es ist $\frac{FE}{AC} = \frac{FP'}{CP'}$ oder $\frac{EE}{AB} = \frac{FP'}{CP'}$, woraus folgt, dass $EE =$ der Grundlinie ist, wenn der indirect gesehene Punkt grade in der Mitte zwischen dem fixirten Punkte und dem Mittelpunkte der Grundlinie liegt. Ein Gränzwerth für die Grösse EE, für die Entfernung der Doppelbilder von einander, wie in dem Ausdrucke für DD, die Entfernung der

rechtseitigen Doppelbilder von einander, liegt nicht in dem Ausdrucke für die verkehrten Doppelbilder; diese können bis über die Gränzen des Gesichtsfeldes auseinanderrücken. Endlich ergiebt sich noch aus der Vergleichung beider Ausdrücke, wie es natürlich auch der Versuch lehrt, dass, wenn ein Punkt hinter dem fixirten zugleich mit einem gleichweit vor demselben gelegenen Punkte indirect gesehen wird, die Entfernung zwischen je zwei Doppelbildern keinesweges gleich ist, sondern dass der Abstand der rechtseitigen stets kleiner ist, als der der verkehrten. Dies sind die wichtigsten Verhältnisse der Doppelbilder im Allgemeinen und für den Fall, dass nur ein einziger Punkt des Horopters in Betracht gezogen wird, nämlich der fixirte Punkt.

3.

Es wird sich im Verlaufe der Untersuchung herausstellen, wie die Erscheinungen der Doppelbilder und die Beschaffenheit des Horopters in engem Zusammenhange mit den Bewegungen der Augen stehen, wie dieselben nicht nur abhängig sind von dem Convergenzwinkel der Sehaxen, sondern auch von dem Neigungswinkel derselben gegen den Horizont. Der Convergenzwinkel ist immer ausschliesslich das Resultat der Wirkung der Augenmuskeln; er ist leicht zu bestimmen und zu controliren durch Messung der Entfernung des fixirten Punktes. Nicht so aber verhält es sich mit dem Neigungswinkel der Sehaxen gegen den Horizont oder, was dasselbe ist, mit der Neigung der Visirebene; denn diese ist sowohl von den Bewegungen der Augen selbst, als von denen des Kopfes abhängig. Da es uns nun grade ausschliesslich um die Neigung zu thun sein wird, welche die Augenmuskeln bedingen, so müssen die Bewegungen des Kopfes wo möglich völlig ausgeschlossen sein, und dieser muss eine bestimmte unter allen Umständen gleiche Stellung haben. Wir wählen natürlich die gewöhnliche aufrechte Stellung des Kopfes; dabei erhebt sich aber eine sehr schwierige Frage: wie soll diese Stellung definirt werden? Eine brauchbare Topologie des menschlichen Körpers giebt es noch nicht, und vergebens habe ich mich nach Merkmalen umgesehen, aus deren Lage oder Richtung eine für Jeden, wenn auch nur annähernd, gleiche Kopfstellung sich bestimmen liesse: ich ziehe es daher vor, statt einige vielleicht scheinbar exacte Merkmale anzugeben, die Auslegung des Ausdrucks „einer ungezwungenen aufrechten Kopfstellung" Jedem, der die Versuche etwa wiederholen möchte, zu überlassen. Das Wichtigste wird sein, dafür Sorge zu tragen, dass bei zusammenge-

hörigen Versuchen der Kopf in ein und derselben Stellung verharrt. Dies ist auf verschiedene Weise annähernd zu erreichen; weiter unten werde ich eine derselben angeben.

Als Ausgangspunkt für die Versuche wähle ich diejenige Augenstellung, bei welcher, während der Kopf aufrecht steht, die Visirebene senkrecht zu der durch den Kopf gelegten Verticalebene steht, mit der Horizontalen also zusammenfällt. Diese Augenstellung ist in den zunächst folgenden Versuchen vorausgesetzt: die Neigung der Sehaxen = Null.

4.

In Fig. 2. haben die Buchstaben *A*, *B*, *C* dieselbe Bedeutung wie in Fig. 1. In *F* befindet sich der fixirte Punkt. Seine Entfernung von der Grundlinie, *CF*, sei aus später anzugebenden Gründen sehr gering, etwa 8—10 Cm. In *P*, also in der Visirebene und gleichweit von beiden Augen entfernt, befinde sich ein zweiter Punkt; seine Entfernung vom fixirten, *PF*, möge etwa 2 Cm. betragen. Der Punkt *P* erscheint in rechtseitigen Doppelbildern. Wird nun dieser Punkt bei unverändertem Fixationspunkte, überhaupt bei Gleichbleiben aller übrigen Umstände, allmählich aufwärts bewegt in einer Richtung, welche senkrecht zur Visirebene steht, *PQ*, so dass also sich die auf die Visirebene projicirte Entfernung *PC*, d. i. der Tiefenwerth, nicht ändert, so zeigt sich, dass die Entfernung der Doppelbilder von einander nach und nach gleichmässig abnimmt. Hat *P* eine gewisse Höhe über der Visirebene erreicht, so sind die Doppelbilder sich einander so nahe gerückt, dass sie sich decken, was Nichts Anderes heisst, als dass der Punkt *P* dann einfach gesehen wird. Bewegt er sich in derselben Richtung über diese Höhe hinaus, so weichen die Doppelbilder wieder auseinander, sich ebenso gleichmässig von einander entfernend, als sie sich vorher genähert hatten; aber es sind jetzt nicht mehr rechtseitige Doppelbilder, sondern verkehrte, wovon man sich leicht durch Bedecken des einen Auges überzeugt.

Der Abstand der Doppelbilder ist nach dem oben angeführten Ausdrucke ein Mass für die Entfernung des ihnen entsprechenden Objects vom Horopter. Wenn demnach die rechtseitigen Doppelbilder des Punktes *P*, während dieser in senkrechter Richtung aufwärts bewegt wird, sich einander nähern, so ist das ein Zeichen davon, dass sich *P* auf seinem Wege dem Horopter nähert; und wenn der Abstand der Doppelbilder = Null ist, so liegt das Object im Horopter selbst. Der Punkt *P* schneidet also auf seinem Wege in gewisser Höhe über

der Visirebene den Horopter oder genauer die mittlere verticale Durchschnittslinie desselben. Das Erscheinen verkehrter Doppelbilder ist ein Zeichen dafür, dass das Object, welches doppelt erscheint, sich vor dem Horopter befindet oder genauer vor dem Punkte des Horopters, welcher in ein und derselben Höhe mit dem fraglichen Objecte liegt; und wenn verkehrte Doppelbilder weiter aus einander rücken, so heisst das, dass das Object sich vom Horopter entfernt, indem entweder das Object sich den Augen nähert oder der Horopter sich nur von den Augen entfernt. Die Entfernungen beziehen sich immer auf die Visirebene, sind die auf diese projicirten Entfernungen.

In Fig. 2. sei L der Ort auf dem senkrechten Wege PQ, wo sich der Punkt P befinden muss, um einfach gesehen zu werden, so haben wir nun zwei Punkte der verticalen Horopterlinie, L und F. Wird der Punkt P von seinem ursprünglichen Orte in der Visirebene in senkrechter Richtung abwärts bewegt, in der Richtung PR, so nimmt der Abstand der Doppelbilder immer zu, bis P über die Gränze des Gesichtsfeldes hinausgerückt ist. Unterhalb der Visirebene also bleibt P auf dem senkrechten Wege nicht nur immer hinter dem Horopter, sondern entfernt sich auch von diesem immer weiter, je tiefer er unterhalb die Visirebene sinkt.

Wie sich später ergeben wird, stehen die für den Versuch angegebenen geringen Entfernungen des direct und indirect gesehenen Punktes von der Grundlinie keinesweges in irgend einer wesentlichen Beziehung zu dem Ergebnisse des Versuches. Will man sich aber von alle den Veränderungen, welche unter den genannten Umständen die Doppelbilder des Punktes P erleiden, überzeugen, so darf man die genannten Grössen nicht um Vieles überschreiten, weil man sonst beim Aufwärtsbewegen des Punktes zwar die Annäherung der Doppelbilder gegen einander wahrnimmt, nicht aber die wirkliche Kreuzung mit dem Horopter; der Punkt L fällt dann leicht über die Gränzen des Gesichtsfeldes hinaus, so dass man auch die darauf folgenden verkehrten Doppelbilder nicht mehr sieht. Zwar wird dies in den meisten der Versuche auch gar nicht nothwendig sein, indem sich alle Verhältnisse allein aus dem Factum ableiten lassen, dass die Doppelbilder sich einander nähern; indessen ist es doch nothwendig und wünschenswerth, sich ein für alle Male von der vollständigen Erscheinung zu überzeugen.

5.

Wir geben nun dem indirect gesehenen Punkte eine Lage in der Visirebene vor dem fixirten Punkte F, in P'. Er erscheint in verkehr-

ten Doppelbildern. Wird nun die Auf- und Abwärtsbewegung in senkrechter Richtung zur Visirebene, in der Richtung $Q' R'$, wiederholt, so zeigt sich, dass während P' sich über die Visirebene erhebt, die Doppelbilder immer weiter aus einander weichen, bis das Object dem Gesicht verschwindet. Es entfernt sich also die senkrechte Richtung $P' Q'$ oberhalb der Visirebene immer weiter vom Horopter, so wie es bei rechtseitigen Doppelbildern unterhalb der Visirebene der Fall war. Wird dagegen P' abwärts bewegt, so wird der Abstand der verkehrten Doppelbilder allmählich kleiner; in gewisser Höhe unter der Visirebene ist er = Null, die Doppelbilder decken sich, um bei fortgesetzter Bewegung des Objects als rechtseitige Doppelbilder wieder allmählich aus einander zu weichen.

Es möge M der Punkt sein, wo sich P' befindet, wenn seine Doppelbilder sich decken, so kennen wir nun drei Punkte der mittleren verticalen Horopterlinie, L, F und M. Ausserdem wissen wir von dieser Linie, dass sie sich jenseits des Punktes L weiter von den Augen entfernt in der Projection auf die Visirebene, weil sie sich von der senkrechten Richtung PQ, nachdem sie dieselbe in L geschnitten, entfernt; und ebenso, dass sie sich jenseits des Punktes M, oder vielmehr diesseits desselben den Augen nähert, weil sie sich ebenfalls von der senkrechten Richtung $P'R'$, nachdem sie dieselbe in M geschnitten, entfernt, was das Auseinanderweichen der rechtseitigen Doppelbilder beweist. Lässt man die Entfernung des fixirten Punktes von der Grundlinie wachsen, während P und P' dieselben relativen Entfernungen behalten, so findet sich, dass der Kreuzungspunkt des senkrechten Weges PQ mit dem Horopter höher hinaufrückt, der Punkt M dagegen herabsinkt, so dass beide bald aus dem Gesichtsfelde verschwinden. Genaueres hierüber wird später folgen.

Da wohl vorausgesetzt werden darf, dass der Horopter entweder eine ebene oder regelmässig gekrümmte Fläche sein wird, so würde die Kenntniss der Lage der beiden Punkte L und M im Raume genügen, um die Beschaffenheit des mittleren verticalen Durchschnitts des Horopters zu bestimmen.

6.

So einfach die beiden angeführten Versuche zu sein scheinen, und obwohl sie auch wirklich eben der grössten Einfachheit der Umstände wegen als Fundamentalversuche für das Folgende angesehen werden können, so sind sie doch keinesweges so leicht auszuführen; es ist einige Uebung im indirecten Sehen und besonders im Sehen der Dop-

pelbilder bei völlig fester Fixation erforderlich, was indessen mehr oder weniger von allen noch anzuführenden Versuchen gilt. Leichter als die beiden so eben besprochenen Versuche werden die folgenden Modificationen derselben gelingen. Anstatt einen Punkt auf bestimmten Wegen fortrücken zu lassen, können diese Wege selbst benutzt werden; wir können Linien nehmen und sehen, wie sich die Doppelbilder der einzelnen Theile derselben verhalten.

Während der Punkt *F* in Fig. 2. wie vorher bei horizontaler Visirebene fixirt wird, befinde sich hinter demselben in der verticalen Medianebene eine zur Visirebene senkrecht stehende grade Linie *RQ*. Um nicht in eine Verwirrung der Ausdrücke zu gerathen, vertausche ich diese Linie im Folgenden mit der Benennung Stab, hebe dabei jedoch besonders hervor, dass es einerseits des bessern Gelingens der Versuche wegen nothwendig ist, sich nur feiner Linien zu bedienen, vorausgesetzt, dass sie den gehörigen Grad von Deutlichkeit durch Contrast gegen das übrige Gesichtsfeld besitzen, und dass anderseits alles Folgende sich auch zunächst nur auf Punkte und Linien bezieht und, wie sich leicht ergeben wird, beziehen musste. Die Erscheinungen, welche die Doppelbilder von *RQ* darbieten, sind übereinstimmend mit dem Ergebnisse des ersten Versuches. Die Doppelbilder des Theiles des Stabes, welcher oberhalb der Visirebene sich befindet, convergiren nach einem in gewisser Höhe über der Visirebene gelegenen Punkte; bei passend gewählten Entfernungen des fixirten Punktes und des Stabes selbst gewahrt man die rechtseitigen Doppelbilder sich kreuzen und oberhalb des Kreuzungspunktes als verkehrte Doppelbilder divergiren. Die Bilder des unterhalb der Visirebene gelegenen Theiles des Stabes setzen die Richtung derjenigen des oberen Theiles fort: sie divergiren nach unten. Es bilden also die Doppelbilder des ganzen Stabes ein Kreuz unter einem Winkel, über dessen Grösse, welche von mehren Verhältnissen abhängig ist, später das Nähere folgen wird; es ist immer nur ein kleiner Winkel, der unter allen oben angegebenen Voraussetzungen beiläufig etwa 8^0 beträgt. Fig. 3. stellt die Doppelbilder des hinter *F* befindlichen Stabes *RQ* dar, und es bezeichnet *P* die Doppelbilder des Punktes des Stabes, welcher in der Visirebene liegt.

Befindet sich der indirect gesehene senkrechte Stab v o r dem fixirten Punkte, in *R'Q'*, so erscheinen seine Doppelbilder ebenfalls gegen einander geneigt, aber umgekehrt, wie vorher (Fig. 4.): sie convergiren gegen einen unterhalb der Visirebene gelegenen Punkt, kreuzen sich in demselben, um dann als rechtseitige Doppelbilder zu divergiren.

7.

Wenn die Doppelbilder einer Linie sich in einem Punkte kreuzen, sich daselbst decken, so heisst das ohne Weiteres an und für sich noch keinesweges, dass ein Punkt der Linie einfach gesehen wird: es giebt Fälle, wie wir weiter unten sehen werden, in welchen sich die Doppelbilder einer Linie kreuzen, aber mit Punkten sich daselbst decken, welche zwei verschiedenen Punkten des Objects entsprechen. Hier bedeutet also die Kreuzung der Doppelbilder keinesweges Einfachsehen eines Punktes des Objects; damit dies gefolgert werden kann, ist nothwendig, dass die Doppelbilder sich mit zwei gleichen, ein und demselben Punkte des Objects entsprechenden Punkten decken. Dass dies nun wirklich in den beiden letztgenannten Versuchen unter den angegebenen Umständen der Fall ist, davon kann man sich leicht durch Markirung einer Anzahl von Punkten des Stabes überzeugen, so wie es indessen auch schon aus dem Ergebnisse der ersten beiden Versuche mit Sicherheit geschlossen werden kann. Dort hatten wir es nur mit einem Punkte zu thun: dessen Doppelbilder deckten sich an den beiden genannten Oertern im Raume; der Voraussetzung nach sind die beiden letzten Versuche im Wesentlichen ganz gleich mit jenen, und es werden also auch die beiden Punkte des Stabes, welche den beiden Kreuzungspunkten der Doppelbilder, das eine Mal hinter dem fixirten Punkte oberhalb, das andere Mal vor dem fixirten Punkte unterhalb der Visirebene, entsprechen, einfach gesehen: der Stab schneidet in den beiden Punkten den Horopter.

Ich werde mich nun im Folgenden statt bewegter Punkte immer der Linien zu den Versuchen bedienen, und nachdem wir uns überzeugt haben, dass die nach unten (verkehrte) oder nach oben (rechtseitige) convergirenden Doppelbilder, vorausgesetzt, dass beide um Gleiches symmetrisch gegen die Senkrechte geneigt sind, wirklich zu einer Kreuzung kommen, welche bedeutet, dass das Object daselbst den Horopter schneidet, und darüber hinaus als rechtseitige und resp. verkehrte Doppelbilder divergiren, werden wir die Anforderung, dieses unmittelbar zu sehen, bei den folgenden Versuchen nicht mehr zu stellen brauchen; die Neigung der Doppelbilder gegen einander wird genügen, um die Existenz eines gewissermassen virtuellen Kreuzungspunktes, eines virtuellen Durchschnittspunktes des Objects mit dem Horopter zu beweisen, und wir werden dann im Stande sein, die Versuche weiter auszudehnen und sie mit grösserer Leichtigkeit und Sicherheit, wo es auf Messungen ankommt, auszuführen.

Aus dem Bisherigen geht zunächst hervor, dass der Horopter für den Fixationspunkt F bei horizontaler Visirebene keine auf dieser senkrecht stehende Fläche ist, sondern dass es eine Fläche sein kann, welche in der Richtung von oben nach unten oder in der Höhendimension entweder eben, oder gekrümmt gegen die Visirebene geneigt schräg von oben nach unten auf den Beobachter zu gerichtet ist. Bei genauerer Betrachtung ergiebt sich indessen, dass schon die bisherigen Versuche hinreichen, um zwischen den beiden letztgenannten Alternativen zu entscheiden.

Gesetzt nämlich, die Punkte F, L und M in Fig. 2., welche also Punkte des verticalen Horopterdurchschnitts darstellen, lägen so, dass eine sie verbindende Linie eine Curve, etwa eine Kreislinie, darstellte, so würde eine im Punkte P senkrecht zur Visirebene stehende grade Linie sich dieser kreisförmigen Horopterlinie nicht gleichmässig nähern, sondern, wenn jene Kreislinie ihre Concavität den Augen zuwendete, so würden sich die Punkte des Stabes PQ, welche zunächst über der Visirebene gelegen sind, rascher dem Horopter nähern, die folgenden aber allmählich langsamer und zuletzt vielleicht in längere Zeit hindurch nahezu gleichbleibender Entfernung sich befinden: einer solchen jedenfalls ungleichmässigen, wenn auch je nach der Grösse des Radius jenes Kreises und nach der Lage seines Mittelpunktes in verschiedener Weise ungleichmässigen, Annäherung des Stabes an den Horopter müssten dann auch die Entfernungen der Doppelbilder der einzelnen Theile des Stabes entsprechen, welche in ihrer Gesammtheit nicht wie ein aus graden Linien gebildetes Kreuz erscheinen könnten, sondern welche, selbst gekrümmt, mit der Convexität einander zugewendet (und resp. sich kreuzend) erscheinen würden. Wäre die verticale Horopterlinie eine Curve, deren Convexität den Augen zugewendet ist, so würde die Entfernung der Doppelbilder des Stabes in ihren unteren Theilen nahezu gleichbleiben und erst nach Oben zu in rascherem Verhältnisse eine Abnahme derselben stattfinden: die Doppelbilder würden wiederum Curven, mit ihrer Concavität gegen einander gewendet, darstellen. Zwar würde das Angegebene in kaum sichtbarer Weise stattfinden bei einer etwaigen Krümmung der Horopterlinie mit sehr grossem Radius; diese würde indessen dann auch als grade Linie anzusehen sein, da nur ein kleiner Theil derselben in Betracht kommen würde.

Abgesehen davon, dass, wie wir später sehen werden, gar kein Grund vorliegt, vorzugsweise eine gekrümmte verticale Horopterlinie zu erwarten, sondern im Gegentheil von vorn herein eine grade Linie zu vermuthen war, brauchen wir hier auch nicht ein Mal jene Unge-

nauigkeit in der Bestimmung des verticalen Durchschnitts des Horopters, dass es vielleicht eine Curve mit sehr grossem Krümmungshalbmesser sein könnte, uns zu Schulden kommen zu lassen, da auf eine andere Weise sich weit einfacher und sicherer nachweisen lassen wird, dass die Punkte *F*, *L* und *M* in der That in einer graden Linie liegen.

8.

Die unmittelbare Markirung der Punkte *L* und *M* im Raume würde sogleich zur Kenntniss der Beschaffenheit der sie mit *F* verbindenden Linie verhelfen. Aber eine solche Markirung ist nur mit grosser Ungenauigkeit ausführbar; sie wäre überhaupt nur bei Versuchen mit sehr geringen Entfernungen des fixirten Punktes und des Stabes von der Grundlinie möglich, bei allen Versuchen, in welchen *L* und *M* nur virtuell vorhanden sind, gar nicht ausführbar. Eine Messung des Winkels, unter welchem die Doppelbilder gegen die Horizontale geneigt erscheinen, oder desjenigen, unter welchem sie convergiren, könnte durch Berechnung zur Bestimmung der Lage von *L* und *M* führen. Die Messung sowohl des ersteren als des letzteren Winkels ist nicht unmöglich, und ich werde später darauf zurückkommen; aber es ist gegenüber einer anderen Methode ein ungenaues Verfahren, und würde eine grössere Zahl solcher Messungen, auch in grösseren Entfernungen vom Auge, wie sie erforderlich sein würden, sehr umständlich sein. Während sich kein passendes Verfahren darbietet, die Beschaffenheit der in Frage stehenden Horopterlinie unmittelbar aus der Lage jener beiden Punkte zu erfahren, giebt es eine einfache und sichere Methode, auf indirektem Wege zum Ziele zu gelangen.

Wir fanden, dass die Doppelbilder des senkrecht in *P* stehenden Stabes nach Oben convergirten, weil der Stab oder die Richtung desselben in gewisser Höhe über der Visirebene den Horopter schneidet, sich ihm also allmählich nähert. Es leuchtet nun ein, dass, wenn dem Stabe eine solche Lage gegeben wird, dass er bei unendlicher Verlängerung weder oberhalb noch unterhalb der Visirebene den Horopter schneidet, er also selbst parallel * der Richtung des Horopters liegt, seine Doppelbilder ebenfalls parallel unter einander erscheinen müssen, da dann alle Punkte des Stabes gleichweit vom Horopter entfernt sind, und folglich der Abstand der Doppelbilder aller Punkte gleich

* Auf die Bedeutung des Ausdrucks „parallel“ bei dieser Gelegenheit werde ich weiter unten zurückkommmen.

ist. Es handelt sich also nur darum, dem Stabe die geforderte Lage zu geben und dabei den Parallelismus der Doppelbilder so genau als möglich zu bestimmen: dann ist die Richtung des Stabes zugleich die des Horopters für den fixirten Punkt *F*. Es ist nun auch klar, dass, wenn überhaupt einer g r ä d e n Linie, deren Stelle der Stab vertritt, eine solche Richtung ertheilt werden kann, dass ihre Doppelbilder parallel erscheinen, die Linie also parallel dem Horopter verläuft, damit der sicherste Beweis geliefert ist, dass die verticale Durchschnittslinie des Horopters selbst eine grade Linie ist; wäre diese eine Curve, so könnten nur die Doppelbilder einer dieser Curve parallel gekrümmten Linie als zwei grade parallele Linien erscheinen. Es wird sich ferner daraus, dass wir einen zum Theil oberhalb, zum Theil unterhalb der Visirebene befindlichen Stab bis zum Parallelismus der Doppelbilder neigen können, ergeben, dass die verticale Horopterlinie nicht etwa eine in der Visirebene, also im Punkte *F*, gebrochne Linie darstellt, sondern dass *L*, *F* und *M* in einer graden Linie liegen.

9.

Ich befestigte für die folgenden Versuche einen Streifen dicken Papiers, auf welchem die indirekt zu sehende Linie gezeichnet war, so an dem Mittelpunkte eines in Grade getheilten Kreises, dass der Streifen um eine in der Visirebene festliegende Axe gedreht, der Linie also jede beliebige Neigung zur Visirebene ertheilt werden konnte. Der Kreis war an einem horizontalen Lineal verschiebbar, welches die Visirebene vorstellte. Um sogleich einen speciellen Fall zu betrachten, möge die Entfernung des fixirten Punktes von der Nasenwurzel (Fig. 5. *CF*) etwa 20 Cm. betragen, die des Drehpunktes der indirekt gesehenen Linie (*CP*) 22 Cm.; die anhaltende Fixation ist dann nicht anstrengend und die Doppelbilder befinden sich in angemessener Entfernung von einander. Die Doppelbilder der senkrecht stehenden Linie convergiren nach oben, aber ihr Kreuzungspunkt fällt über die Gränzen des Gesichtsfeldes hinaus. Jedes der beiden Bilder schliesst mit der Horizontalen einen Winkel von etwa 87^0 ein. Wird nun die Linie um den Mittelpunkt des Kreises gedreht, so dass ihr oberes Ende sich vom Beobachter entfernt, so bemerkt man, wie, bei natürlich gleichbleibender Entfernung der Doppelbilder des Drehpunktes von einander, sowohl die Convergenz der Doppelbilder des oberhalb der Visirebene gelegenen Theiles, als die Divergenz derjenigen des unterhalb gelegenen Theiles allmählich abnimmt. Der virtuelle Kreuzungspunkt der Bilder rückt immer höher hinauf und ist

endlich unendlich weit entfernt, indem nun keine Neigung der Bilder gegeneinander mehr wahrzunehmen ist, sie erscheinen parallel. Dies ist für den speciellen Fall erreicht, wenn die Linie (oder der Stab) mit der Visirebene einen Winkel von 75°—76° bildet, um etwa 14° also von der senkrechten Richtung abweicht (*PQ'*). Den Parallelismus der Doppelbilder zu bestimmen giebt es kein anderes Mittel, als das Augenmass. Dies reicht aber, nach meinen Erfahrungen in sehr vielen Versuchen, auch vollkommen aus. Ist die Entfernung zweier Linien, hier zweier Doppelbilder, nicht zu gross, ihre Länge nicht zu gering, so ist man meistens im Stande schon sehr geringe, nicht mehr als 1°—2° betragende Abweichungen vom Parallelismus zu erkennen. Wiederholung der Versuche stellt Mittelwerthe heraus, welche eine den übrigen hier noch in Anwendung kommenden Messungen entsprechende Genauigkeit besitzen.

Alle Punkte der geneigten Linie *PQ'* sind also vom Horopter für den 20 Cm. entfernten Fixirpunkt gleichweit entfernt, die verticale Horopterlinie verläuft, um dies nur als vorläufiges Resultat anzugeben, parallel der Linie *PQ'*. Ich habe schon bemerkt, dass dies noch einer später anzugebenden Modification bedarf.

Wie zu erwarten war, zeigt sich nun, dass, wenn die Linie *PQ'* weiter geneigt wird gegen die Visirebene, die Doppelbilder sofort ihren Parallelismus aufgeben und nun gegen einen unterhalb der Visirebene gelegenen Punkt convergiren, indem sich der obere Theil der Linie jetzt immer weiter vom Horopter entfernt, der untere sich ihm allmählich nähert, und, hinreichend verlängert gedacht, ihn schneidet. Dieser virtuelle Durchschnittspunkt rückt bei fortgesetzter Neigung immer höher herauf, die Neigung der Doppelbilder nach Unten gegen einander nimmt zu, endlich tritt ihr Kreuzungspunkt ins Gesichtsfeld, und wenn der Neigungswinkel der Linie *PQ'* zur Visirebene = Null geworden ist, dieselbe also in der Visirebene selbst liegt, so fällt der Kreuzungspunkt der Doppelbilder mit dem fixirten Punkte *F* zusammen. Fährt man in der Bewegung der Linie fort, so dass nun ihr früher unterhalb der Visirebene gelegener Theil der obere wird, so trennt sich der Kreuzungspunkt der Doppelbilder wieder vom fixirten Punkte, und steigt allmählich in schräger Richtung, d. h. in der Richtung des Horopters, in die Höhe. Die Convergenz der Bilder nimmt wieder ab; der Kreuzungspunkt verschwindet oberhalb wieder aus dem Gesichtsfelde; endlich bei 90° Neigung sind die ursprünglichen Verhältnisse zurückgekehrt.

Dasselbe Resultat ergiebt sich, wenn man den Versuch dahin modificirt, dass sich die bewegliche Linie vor dem fixirten Punkte be-

findet; man kann zu dem Zwecke eine drehbare Glasscheibe wählen, auf welcher die Linie gezeichnet ist, oder einen in der Axe durchlöcherten Papierstreifen, so dass der entferntere Punkt *F* fixirt werden kann. Alles Angegebene erfolgt bei derselben Bewegungsrichtung in umgekehrter Ordnung.

10.

Es wird sich nun zunächst die Frage aufdrängen, wie sich die Bilder einer im Punkte *F* selbst senkrecht zur horizontalen Visirebene stehenden Linie verhalten. Nach den Ergebnissen der bisherigen Versuche müssen wir erwarten, dass, ausser dem fixirten Punkte *F* selbst, kein Punkt der Linie einfach gesehen wird, sondern dass der oberhalb der Visirebene gelegene Theil in verkehrten divergirenden Doppelbildern, der unterhalb *F* gelegene Theil in rechtseitigen gleichfalls divergirenden Doppelbildern erscheint, die ganze Linie also wie ein Kreuz gesehen wird. Dem ist nun in der That auch so. Aber die Erscheinung ist bei horizontaler Visirebene so wenig auffallend, dass man dem Punkte *F* eine sehr geringe Entfernung von der Grundlinie geben muss, um sie wahrzunehmen. Leichter, aber doch auch nur bei grossem Convergenzwinkel der Sehaxen, gelingt es, wenn die Visirebene nicht horizontal, sondern aufwärts geneigt ist, wofür die Gründe sich später ergeben werden. Ebenso kann man sich von der Erscheinung leichter überzeugen, wenn man anfangs der fraglichen Linie nicht eine zur Visirebene senkrechte Richtung giebt, sondern sie mit ihrem oberen Theile vorwärts, den Augen zu neigt, wobei die Divergenz der Doppelbilder, wie sich aus dem Vorhergehenden erklärt, beträchtlicher ist; bringt man die Linie dann allmählich in die senkrechte Richtung, so gewahrt man leichter, dass die ganze Linie dann noch nicht einfach gesehen wird, sondern oben noch in verkehrten, unten in rechtseitigen Doppelbildern erscheint: erst wenn man sie über 90^0 hinaus der Richtung des Horopters nähert, verschwinden die Doppelbilder nach und nach, und bei einer gewissen, nach der Entfernung des fixirten Punktes und nach der Neigung der Visirebene zum Horizont verschiedenen, Neigung der Linie gegen die Visirebene werden alle Punkte derselben zugleich mit dem fixirten einfach gesehen; die Linie befindet sich dann im Horopter.

11.

Versuchen wir nun zunächst eine Erklärung für die beobachteten Erscheinungen zu finden, indem wir sehen, welche Verhältnisse sich aus den Eigenschaften gewisser Punkte im Raume für die entsprechenden Punkte der Netzhäute ergeben.

Die beiden Kreise in Fig. 6. stellen die Projectionen der beiden Netzhäute oder des mittleren Theiles derselben vor. Die Punkte a und α bezeichnen die beiden physiologischen Mittelpunkte, die Punkte des deutlichsten Sehens. EF und GH sind die Projectionen der beiden horizontalen grössten Kreise, also die beiden horizontalen Meridiane. AB und CD stehen senkrecht zu diesen und sind die beiden verticalen Meridiane.

Die Retinabilder aller Punkte, welche in der Visirebene gelegen sind, entwerfen sich auf den horizontalen Meridianen EF und GH. Es seien nun die Umstände, wie in den zuletzt angegebenen Versuchen: bei horizontaler Visirebene wird ein etwa 20 Cm. weit entfernter Punkt F fixirt, und hinter demselben befindet sich eine auf der Visirebene senkrecht stehende grade Linie oder ein Stab. Die Bilder des fixirten Punktes befinden sich in a und α. Berücksichtigen wir nun bloss den mit PQ in Fig. 5. bezeichneten Theil des Stabes, so liegt das Retinabild des Punktes P, der in der Visirebene liegt, in dem horizontalen Meridiane, und zwar, da vorausgesetzt wird, dass PQ in der verticalen Medianebene steht, liegt das Retinabild in beiden Augen gleichweit vom Mittelpunkte a und α nach Innen (Nasenseite) zu entfernt. Es seien b und β die Retinabilder des Punktes P. Die Summe von ab und $\alpha\beta$ bezeichnet die Entfernung der Doppelbilder von einander, in welchen der Punkt P des Stabes erscheint, welche in oben angegebener Weise von der Entfernung des fixirten Punktes und von der des indirekt gesehenen abhängig ist. Da der Stab PQ senkrecht zur Visirebene steht, so ist sein Netzhautbild Theil eines durch b und resp. β gelegten verticalen grössten Kreises, die Retina vorläufig sphärisch gekrümmt vorausgesetzt. Von der Krümmung der Retinafläche überhaupt abstrahiren wir aber in der folgenden Betrachtung und berücksichtigen nur ihre Projection auf eine Ebene, was unbeschadet der Richtigkeit der Ergebnisse thunlich ist; denn einerseits ziehen wir überhaupt nur einen kleinen mittleren Theil der Retina wesentlich in Betracht, und anderseits influirt die Krümmung, welche jedes lineare Retinabild besitzt, durchaus nicht auf die Erscheinung des Gesichtseindrucks. Werden zwei parallele senkrechte Linien mit einem Auge betrachtet, so nehmen wir Nichts von der Con-

vergenz wahr, welche die Retinabilder als Theile zweier grösster Kreise besitzen *; wir sehen so, als ob sich die Bilder auf einer ebenen Retina projicirten, wenn man sich den Act des Sehens gewissermassen als ein Anschauen der Retinabilder vorstellen will, so durchaus falsch eine solche Vorstellungsweise auch ist. Kurz die Retina ist physiologisch für die hier zunächst vorliegenden Fragen als eine ebene Fläche anzusehen, und wir betrachten daher die Verhältnisse der Retinabilder in ihrer Projection, so dass Bilder, welche in zwei grössten Kreisen liegen, als in zwei parallelen Linien liegend angesehen werden. Es werden zwar hieraus bei späteren Berechnungen kleine Ungenauigkeiten resultiren, welche jedoch für den zunächst vorliegenden Zweck gar nicht in Betracht kommen. Es bedeuten demnach die Linien bc und $\beta\gamma$ in Fig. 6. die Bilder des verticalen Stabes PQ in Fig. 5.

Wir fanden nun, dass diese beiden Bilder als rechtseitige Doppelbilder nicht parallel erscheinen, sondern gegen einen oberhalb der Visirebene gelegenen Punkt convergiren, sich kreuzen und als verkehrte Doppelbilder wieder auseinanderweichen. Die Entfernung der Doppelbilder des unteren Endes des Stabes, P, entspricht der Summe von ab und $\alpha\beta$. Wäre jeder der übrigen Punkte des Stabes um ebenso viel von dem seinem Höhenwerthe über der Virsirebene entsprechenden Punkte des Horopters entfernt, so dass also allen diesen Abständen ebenfalls die Grösse ab oder $\alpha\beta$ entspräche, so würde auch der Abstand der Doppelbilder jedes Punktes des Stabes gleich sein der durch $ab + \alpha\beta$ repräsentirten Entfernung der Bilder des unteren Endpunktes (P) des Stabes. Lägen in den beiden verticalen Meridianen AB und CD der Reihe nach lauter je zwei identische Punkte der Netzhäute, d. h. wären AB und CD die Trennungslinien je zweier identischer Retinahälften, oder entsprächen, mit anderen Worten, die beiden verticalen Meridiane der Netzhäute der oben gesuchten mittleren verticalen Horopterlinie im Raume, so würde die Linie bc und $\beta\gamma$, Bilder des senkrechten Stabes, in jedem Punkte gleichweit von dieser verticalen Trennungslinie identischer Netzhauthälften entfernt sein, und es könnte daher keine Neigung der Doppelbilder gegeneinander stattfinden, sondern diese würden parallel erscheinen.

Setzen wir nun beispielsweise den Fall, dass die Länge und Entfernung des indirekt gesehenen Stabes so gewählt sei, dass grade sein oberer Endpunkt Q der Kreuzungspunkt seiner Doppelbilder ist, also

* Die perspectivische Convergenz ist hiervon völlig verschieden und kommt hier nicht in Betracht.

im Horopter liegt, so sind die Punkte c und γ der Netzhäute identische Punkte, Punkte der die mittlere verticale Horopterlinie repräsentirenden Trennungslinien. So wie wir oben sahen, dass ein einziger Punkt der verticalen Horopterlinie ausser dem fixirten Punkte hinreicht, um diese verticale Horopterlinie selbst zu bestimmen, weil sie eine grade Linie ist, so müssen auch, wie sich noch weiter herausstellen wird, die diese Horopterlinie repräsentirenden Linien auf den beiden Netzhäuten in ihrer Projection grade Linien, d. h. anatomisch genommen grösste Kreise, sein, deren Richtung gleichfalls durch c und γ nebst den beiden Mittelpunkten a und α bestimmt ist. Es sind daher für unseren Fall die Linien TM und LN diese beiden Linien auf den Netzhäuten, in welchen in gleicher Höhe je zwei identische Punkte liegen.

Ich behalte für sie den von Ruete vorgeschlagenen Namen der verticalen Trennungslinien, im Gegensatz zu den später zu betrachtenden horizontalen, bei, obwohl sie also unter den oben angegebenen Umständen nicht mit den verticalen Meridianen AB und CD zusammenfallen; es können aber unter Umständen, wovon weiter unten, diese Trennungslinien wirklich vertical verlaufen, weshalb ihre Bezeichnung, beziehungsweise vertical, gerechtfertigt sein mag. Es bezieht sich aber hierauf die oben gemachte Bemerkung, dass die Bezeichnung der verticalen und horizontalen Meridiane unabhängig von Punkten bestimmter physiologisher Dignität gelten: sie sind immer, bei jeder Lage der Trennungslinien, wirklich vertical und horizontal in Bezug auf die Visirebene (vergl. oben 1.).

12.

Es wird nun leicht sein, bei so beschaffenen Trennungslinien, dass diese durch die Linien TM und LN dargestellt werden, die übrigen Ergebnisse der obigen Versuche abzuleiten. — Erstreckt sich der Stab in senkrechter Richtung unter die Visirebene, so fallen die Bilder dieses Theiles desselben in die Verlängerung der Linien bc und $\beta\gamma$ aufwärts, sie entfernen sich daher immer weiter von den Trennungslinien TM und LN, und damit wächst der Abstand, in welchem die einzelnen Punkte von einander erscheinen: die Doppelbilder divergiren. Reicht der Stab über den Kreuzungspunkt mit dem Horopter hinaus, so sind die Retinabilder über c und γ hinaus verlängert, und da sich c zu γ so verhält, wie a zu α, so liegen die Bilder jedes Punktes des über Q hinaus verlängerten Stabes so, als ob die Bilder eines in der Visirebene gelegenen Punktes sich in jedem Auge nach Aussen

(schläfenwärts) von a und α entwürfen, also so, als ob sie von einem vor dem fixirten Punkte gelegenen Objecte herrührten; der Theil des Stabes oberhalb Q liegt wirklich vor dem Horopter, seine Doppelbilder sind daher verkehrte, die Retinabilder von c und γ ab abwärts liegen auf der äusseren (Schläfen-) Seite der die verticale Horopterlinie repräsentirenden verticalen Trennungslinien. Die verkehrten Doppelbilder müssen ausserdem divergirend erscheinen. Wurde der Stab PQ der Art geneigt, dass sein oberes Ende sich weiter von den Augen entfernte, so nahm die Convergenz seiner rechtseitigen Doppelbilder (und natürlich auch die Divergenz seiner oberen verkehrten Bilder) ab, indem der Kreuzungspunkt höher hinaufrückte. Bei einer solchen Bewegung des Objects bewegen sich die Punkte c und γ der Retinabilder, da der Punkt Q sich weiter von den Augen entfernt, nach Innen, nasenwärts, und es nähert sich die Richtung der Retinabilder des ganzen Stabes allmählich derjenigen der Trennungslinien, bis bei Parallelismus beider, wenn bd und $\beta\delta$ die Retinabilder sind, jeder Punkt der beiden Bilder gleichweit, nämlich um ab oder $\alpha\beta$ von dem jedem zugehörigen Punkte der Trennungslinien entfernt ist, und die Doppelbilder parallel erscheinen.

In gleicher Weise erklären sich sogleich alle Erscheinungen, welche unter obigen Voraussetzungen die Doppelbilder eines vor dem fixirten Punkte auf der Visirebene senkrecht stehenden Stabes darbieten, wie sich aus der Betrachtung der Verhältnisse der Retinabilder ef und $\varepsilon\varphi$ zu den Trennungslinien TM und LN ergiebt.

Die Doppelbilder des senkrecht hinter dem fixirten Punkte stehenden Stabes bilden unter Hinzuziehung des Kreuzungspunktes und der Horizontalen ein gleichschenkliges Dreieck; die Basis desselben ist gleich oder entsprechend der Summe von ab und $\alpha\beta$; der Winkel an der Spitze, d. i. der Winkel, unter welchem die Doppelbilder convergiren, ist gleich der Summe der beiden Winkel, welche die Retinabilder bc und $\beta\gamma$ mit den Trennungslinien TM und LN einschliessen; diese beiden Winkel sind, da der Stab senkrecht steht, gleich. Der Winkel an der Basis jenes gleichschenkligen Dreiecks ist gleich dem Winkel, welchen die Trennungslinien mit dem horizontalen Meridiane der Retina einschliessen, nämlich = dem Winkel $c\,\acute{a}\,b$ oder $> x'$.

13.

Es wird sich nun zunächst darum handeln, die Richtung der Trennungslinien TM und LN für einen bestimmten Fall zu ermitteln. Da sich ergab, dass die verticale Horopterlinie eine grade Linie ist,

so folgt daraus allerdings, dass die beiden diese repräsentirenden Linien der Retiua ebenfalls in der Projection grade Linien darstellen; aber der Winkel, unter welchem die Horopterlinie gegen die Visirebene geneigt ist, ist keinesweges zugleich der Winkel, unter welchem die Trennungslinie *TM* gegen den horizontalen Meridian *EF* geneigt ist; nur in einem Falle sind beide Neigungswinkel gleich, nämlich, wenn der Horopter senkrecht zur Visirebene steht, ein Fall, welchen wir erst später finden werden.

Nach dem am Schlusse des vorigen Paragraphen Bemerkten würde es am Einfachsten erscheinen, den Winkel zu messen, unter welchem die Doppelbilder gegen einander convergiren oder denjenigen, unter welchem sie gegen den Horizont geneigt erscheinen; eine solche Messung würde unmittelbar zur Kenntniss der Richtung der Trennungslinien führen. Es wird sich aber zeigen, dass es sich bezüglich der Richtung von *TM* und *LM* oft um so geringe Abweichungen von der senkrechten Richtung, und besonders um so geringe Differenzen bei verschiedenen Umständen handelt, dass an ein directes Messen der Winkel gar nicht zu denken ist, was an und für sich schon, wie bemerkt, mit Schwierigkeiten verbunden ist. Um aus der auf oben angegebene Weise gefundenen Neigung des Horopters gegen die Visirebene oder vielmehr aus der beobachteten Neigung, welche dem Stabe gegeben werden muss, damit seine Doppelbilder parallel erscheinen, die Neigung der Trennungslinien gegen den horizontalen Meridian berechnen zu können, müssen wir untersuchen, wie sich das Netzhautbild einer Linie verhält, welche in der fraglichen Weise aus der senkrechten Stellung zur Visirebene geneigt wird.

14.

In Fig. 7. bedeutet *A* den Kreuzungspunkt der Richtungslinien eines Auges; *C* die Mitte der Grundlinie. Der Punkt *F* wird fixirt und *FD* ist ein auf der Visirebene senkrecht stehender Stab. Das Retinabild dieses Stabes wird durch *ag* in Fig. 6., auf dem verticalen Meridiane abgetragen, dargestellt. Der Stab wird nun um seinen unteren Endpunkt *F*, welcher fixirt bleibt, so gedreht, dass er in der verticalen Medianebene, welche durch die Punkte *C*, *F* und *D* bestimmt ist, bleibt. *FQ* ist der unter dem Winkel *n* gegen die Visirebene geneigte Stab. Während der Punkt *D* nach *Q* gerückt ist, hat er sich vom Auge entfernt und sich zu gleicher Zeit der Visirebene genähert. Dem entsprechend hat sich der Punkt *g* des Retinabildes aus dem verticalen Meridiane auf die innere Hälfte der Netzhaut be-

wegt und ist gleichzeitig dem horizontalen Meridiane näher gerückt. Sein jetziger Höhenwerth auf der Retina, welcher vorher = *ag* war, möge durch die Linie *bc* ausgedrückt werden. Die Grösse, um welche sich der Punkt *Q* weiter vom Auge entfernt befindet, als *D* in Fig. 7., ist = der Linie *FP*. Dieser Linie entspricht auf der Netzhaut die Entfernung des Punktes *c* von dem verticalen Meridiane, welche durch die Linie *ab* ausgedrückt ist. *PQ* ist die Höhe, in welcher sich *Q* über der Visirebene befindet und entspricht der Linie *bc* auf der Netzhaut. Kennen wir also das Verhältniss, in welchem die Retinabilder der beiden Linien *PQ* und *FP* stehen, so kennen wir damit das Bild des rechtwinkligen Dreiecks *FPQ* und somit den dem Winkel *n* entsprechenden Winkel *x* in Fig. 6.

Wird *FN* in Fig. 7. gleich *PQ* gemacht, so würde sich das Retinabild der Linie *FN* zu dem der ganzen Linie *FD* verhalten = $\frac{\sin n}{1}$, oder $\sin n$ würde der Ausdruck für das Retinabild von *FN* sein. Die Linie *PQ* aber, um deren Retinabild es sich handelt, welche zwar = *FN* ist, ist um die Länge der Linie *FP* weiter vom Auge entfernt, als *FN*, und erscheint daher unter kleinerem Sehwinkel, die Winkelgrösse ihres Bildes ist kleiner, als die von *FN*. Wird *AR* = *AF* gemacht, und dann *RS* parallel zu *PQ*, d. h. senkrecht zur Visirebene, gezogen, so ergiebt das Verhältniss von *RS* zu *PQ* den in Frage stehenden Unterschied zwischen den Winkelgrössen der Bilder von *FN* und *PQ*. Es ist

$$\frac{RS}{PQ} = \frac{AR}{AP}.$$

Für diesen Ausdruck kann ohne erheblichen Fehler, wenn die Entfernung der Objecte vom Auge nicht sehr gering ist, gesetzt werden:

$$\frac{RS}{PQ} = \frac{CF}{CP},$$

indem fast bei allen Convergenzwinkeln der Augen, welche in Betracht kommen, die Linie *FR*, welche die Basis eines gleichschenkligen Dreiecks *AFR* bildet, nahezu zusammenfällt mit einer zur Grundlinie durch *F* parallel gelegten Linie, so das dann die Dreiecke *ACP* und *FRP* als ähnliche angesehen werden können. Der Ausdruck für das Retinabild *bc* der Linie *PQ* ist also:

$$bc = \sin n . \frac{CF}{CP} \quad (1)$$

Fig. 8. ist die Fig. 7. von oben gesehen, und es ist *PF* in beiden gleichbedeutend. Das Bild einer Linie *PF* ist gleich dem Bilde einer Linie *EF*, welche parallel zu *AC* gezogen ist. Es ist nun

$$\frac{EF}{PF} = \frac{AC}{CP} \text{ oder } \frac{EF}{\cos n} = \frac{AC}{CP};$$

daher ist der Ausdruck für das Retinabild ab der Linie FP:

$$ab = \cos n. \frac{AC}{CP.} \quad (2)$$

Aus der Vereinigung der beiden Gleichungen, 1 u. 2, ergiebt sich, dass

$$\frac{ab}{bc} = \cot x = \cot n. \frac{CF}{AC.}$$

Leiten wir in gleicher Weise den Ausdruck ab (es wird derselbe später in Anwendung kommen), woraus sich das Retinabild eines Winkels ergiebt, wenn die Linie FD nach der entgegengesetzten Seite, dem Auge zu geneigt wird, so findet sich dafür ganz dieselbe Formel. Es ist nämlich das Retinabild von $P' Q'$ in Fig. 7., welches auf der äusseren Hälfte der Netzhaut liegt, für welches ich die Bezeichnung bc beibehalten will, unter derselben Vereinfachung des Ausdrucks, die wir vorher eintreten liessen:

$$bc = \sin n'. \frac{CF}{CP'} \quad (1)$$

Das Retinabild der Linie FP' (Fig. 8.) ist gleich dem Bilde der Linie FM, und da

$$\frac{FM}{FP'} = \frac{AC}{CP'}, \text{ so ist das Bild von } FP', \text{ nämlich:}$$

$$ab = \cos n'. \frac{AC}{CP'} \quad (2)$$

Aus den beiden Gleichungen, 1 und 2, ergiebt sich wiederum

$$\cot x = \cot n'. \frac{CF}{AC.}$$

In diesem Ausdrucke ist AC eine Constante, nämlich die Hälfte der Grundlinie, welche die beiden Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen verbindet; CF bezeichnet immer die Entfernung des Scheitelpunktes des in Frage stehenden Winkels von dem Mittelpunkte der Grundlinie, und es bedarf nicht der Erwähnung, dass der Ausdruck auch dann unmittelbar Anwendung findet, wenn nicht, wie eben, der Scheitelpunkt des Winkels fixirt wird, sondern dieser sich in der mittleren Verticalebene vor oder hinter dem fixirten Punkte befindet, wie es bei obigen Versuchen der Fall ist.

15.

Kehren wir nun zu dem Versuche zurück, welcher lehrte, dass der Stab PQ in Fig. 5. unter dem Winkel n gegen die Visirebene geneigt sein musste, damit seine Doppelbilder parallel erschienen, so findet sich nun die Grösse des Winkels, welchen das Retinabild des geneigten Stabes PQ' mit dem horizontalen Meridiane einschliesst, d. i. der Winkel x' in Fig. 6., aus dem Ausdrucke: $\cot x' = \cot n. \frac{CP}{AC.}$ Da nun, wenn bd und $\beta\delta$ als parallele Doppelbilder gesehen werden, ihre Richtung parallel den verticalen Trennungslinien TM und LN sein muss, so ist der Winkel $x = x'$, d. i. der Winkel, welchen TM und LN mit dem horizontalen Meridiane einschliessen.

Es ist nun am Orte, einen Fehler zu verbessern, welchen ich oben mit Hinweisung auf diese Bemerkung, absichtlich begangen habe, wenn ich sagte, dass der Stab PQ', dessen Doppelbilder parallel erscheinen, parallel der verticalen Horopterlinie gerichtet sei. Dieser Ausdruck ist nämlich theils richtig, theils falsch. Richtig ist er insofern, als die Retinabilder von PQ' allerdings parallel den die mittlere verticale Horopterlinie repräsentirenden Trennungslinien verlaufen, und PQ' somit für das Auge, für den Beobachter in jedem Punkte gleichweit vom Horopter entfernt ist, oder entfernt zu sein scheinen muss, d. h. in parallelen Doppelbildern gesehen wird. Falsch aber ist der Ausdruck, weil, gleichsam für einen objectiven Beobachter, oder absolut im Raume die verticale Horopterlinie FH nicht parallel dem geneigten Stabe PQ' verläuft, sondern einen etwas grösseren Winkel mit der Visirebene einschliesst. Dies wird sich sogleich aus Folgendem ergeben. Denken wir, es befinde sich in F eine unter dem Winkel m gegen die Visirebene geneigte Linie, (also im Horopter selbst), so findet sich der Winkel, welchen das Retinabild derselben, ac in Fig. 6., mit dem horizontalen Meridiane einschliesst aus dem Ausdrucke:

$$\cot x = \cot m. \frac{CF}{AC.}$$

Für das Retinabild des Winkels n gilt der Ausdruck:

$$\cot x' = \cot n. \frac{CP}{AC.}$$

Gesetzt nun, der Winkel n wäre = dem Winkel m, so würde das Retinabild des Winkels n, der Winkel x', grösser sein, als das des Winkels m, nämlich $>x$. Sollen beide Retinabilder, $>x$ und $>x'$, gleich sein, so muss der Winkel m grösser sein als der Winkel n. Da nun,

wie wir sahen, die beiden Winkel auf der Netzhaut, $>x$ und $>x'$, gleich sind, wenn die Doppelbilder des Stabes PQ parallel erscheinen, so ist der Winkel m, d. i. der Winkel, unter welchem der Horopter gegen die Visirebene geneigt ist, grösser, als der Winkel n, unter welchen der Stab geneigt sein muss, wenn seine Doppelbilder parallel erscheinen. Für den Beobachter sind die beiden Winkel gleich. Das Verhältniss derselben findet sich aus dem Ausdrucke:

$$\frac{\cot n}{\cot m} = \frac{CP}{CF}.$$

Um also das Ergebniss kurz zusammen zu fassen, so berechnet sich aus der beobachteten Neigung des indirect gesehenen Stabes bei Parallelismus seiner Doppelbilder zunächst die Neigung seines Retinabildes gegen den horizontalen Meridian, welche unmittelbar auch die Neigung der verticalen Trennungslinie gegen denselben ergiebt. Dann kann entweder aus diesem Winkel rückwärts, oder auch aus der zuletzt angeführten Formel der Winkel berechnet werden, welchen die verticale Horopterlinie mit der Visirebene einschliesst.

Liegt der fixirte Punkt vor dem Scheitelpunkte des Winkels n*, so ist dieser Winkel kleiner, als der Winkel m des Horopters; liegt der fixirte Punkt hinter dem Scheitelpunkte des Winkels n, so ist $>n$ grösser als $>m$. Macht man daher den Versuch, einen Stab, dessen unterer Endpunkt fixirt wird, so zu neigen, dass er ganz im Horopter liegt, so wird sich finden, dass der Winkel, um welchen man ihn aus der verticalen Richtung neigen muss, abweicht von demjenigen, welchen man vielleicht vorher für einen indirect gesehenen Stab gefunden hat, dessen Doppelbilder parallel erschienen; jener wird grösser sein, wenn letzterer für verkehrte Doppelbilder, kleiner, wenn letzterer für rechtseitige Doppelbilder gefunden wurde. Endlich würde es hier kaum der Erwähnung bedürfen, wenn es nicht oben übergangen werden musste, dass, wenn man die Neigung des Horopters für einen bestimmten Punkt etwa nach einander oder gleichzeitig mittelst rechtseitiger und verkehrter Doppelbilder zu bestimmen versuchen wollte, die nächsten Resultate beider Versuche nicht, wie man vielleicht erwarten möchte, gleich sein werden; sondern es würde sich, wie aus dem eben Erörterten hervorgeht, finden, dass man einen vor dem fixirten Punkte befindlichen Stab weniger zu neigen braucht, damit seine Doppelbilder parallel erscheinen, als einen hinter demselben fixirten Punkte befindlichen Stab.

---

* $>n$ ist immer der Winkel, um welchen der Stab bei Parallelismus seiner Doppelbilder geneigt ist.

Für einen bestimmten Horopter muss der Neigungswinkel eines indirect gesehenen Stabes bei Parallelismus seiner Doppelbilder kleiner werden, je weiter sich der Stab vom Auge entfernt, wie sich sogleich aus der Betrachtung des obigen Ausdrucks ergiebt, wenn zwei Grössen darin constant sind. Durch den Versuch ist dies leicht zu bestätigen, so weit er bei der mit dem Wachsen der Entfernung des Stabes zunehmenden Ungenauigkeit ausführbar ist.

Es wurde schon angegeben, dass der Winkel, unter welchem uns jedes der beiden Doppelbilder des senkrechten Stabes gegen die Horizontale geneigt erscheint, derselbe ist, welchen die Trennungslinien mit dem horizontalen Meridiane einschliessen ($\sphericalangle x$), so wie, dass der Winkel an der Spitze des von den Doppelbildern gebildeten oder resp. gebildet zu denkenden Dreiecks gleich ist dem Doppelten des Ergänzungswinkels von $\sphericalangle x$ zu 90^0. Die Messung dieser Winkel ist, obwohl nur in ungenauer Weise, ausführbar; man kann einen leicht beweglichen Winkel in die Nähe des Stabes halten und durch Vergleichung desselben, der freilich auch doppelt, aber in seiner Grösse nicht verändert gesehen wird, die Grösse des Neigungswinkels der Doppelbilder zu bestimmen suchen. Kleinere Winkelunterschiede können nicht geschätzt werden; übrigens stimmen die durch Vergleichung gewonnenen Grössen mit den berechneten überein.

Beispielsweise möge nun die Berechnung obiger Werthe für einen speciellen Fall folgen.

16.

Der Versuch lehrt, dass, wenn bei horizontaler Visirebene ein von beiden Augen gleichweit und von der Mitte der Grundlinie 23 Cm. weit entfernter Punkt fixirt wird, eine in derselben Weise 25 Cm. weit entfernte senkrecht stehende Linie um 14^0 geneigt werden muss, damit ihre Doppelbilder parallel erscheinen. Es ist also $\sphericalangle n = 76^0$. $CP = 25$ Cm. Die Grundlinie AB ist gleich der Entfernung zwischen den Mittelpunkten beider Pupillen bei parallelen Sehaxen. Dies ist eine bei verschiedenen Individuen allerdings Schwankungen unterliegende Grösse; durchschnittlich beträgt sie 6,3 Cm. Ich habe in den folgenden Berechnungen die Hälfte der Grundlinie zu 3 Cm gerechnet. Es ist also $AC = 3$ Cm. Dann ist

$$cot\, x = cot\, 76^0 . \frac{3}{25}.$$

$$log\; cot\, x = 8{,}4759524.$$

$$\sphericalangle x = 88^0\, 17'.$$

So viel beträgt der Neigungswinkel der verticalen Trennungslinie gegen den horizontalen Meridian bei dem 23 Cm. entfernten Fixirpunkte (die Visirebene horizontal vorausgesetzt). Die Neigung des Horopters selbst für diesen Fixirpunkt findet sich entweder aus dem Ausdrucke:

$$cot\ 88^0\ 17' = cot\ m.\ \frac{3}{23}$$
$$log.\ cot.\ m = 9{,}3605589$$
$$> m = 77^0\ 5';$$

oder aus folgendem:

$$\frac{cot\ 76^0}{cot\ m} = \frac{25}{23}$$
$$> m = 77^0\ 5'.$$

Die Doppelbilder der senkrecht stehenden Linie schliessen mit der Horizontalen jedes einen Winkel von etwa 88⁰ ein, und, wäre ihr Kreuzungspunkt sichtbar, so würde die Kreuzung unter einem Winkel von etwa 4⁰ erfolgen.

17.

Es soll nun zunächst untersucht werden, wie sich die Neigung des Horopters und die Richtung der beziehungsweise verticalen Trennungslinien der Netzhäute bei den verschiedenen Stellungen der Augen verhalten. Ich ziehe zunächst nur die symmetrischen Bewegungen beider Augen in Betracht, diejenigen nämlich, bei welchen der fixirte Punkt immer gleichweit von beiden Kreuzungspunkten der Richtungsstrahlen entfernt ist, sich also immer in der verticalen Medianebene befindet. Diese symmetrischen Bewegungen zerfallen in zwei Klassen, in Convergenzbewegungen der Sehaxen und in Neigungsbewegungen derselben gegen den Horizont; letztere habe ich schlechtweg Neigungen der Visirebene genannt. Alle bisherigen Versuche bezogen sich auf die horizontale Stellung der Sehaxen, wobei also die Neigung der Visirebene = Null war. Betrachten wir zunächst die verschiedenen Convergenzwinkel der Sehaxen bei horizontaler Visirebene.

Vorher sei es erlaubt, daran zu erinnern, was sich aus früher Gesagtem schon ergiebt, dass, gesetzt es bliebe bei horizontaler Visirebene in allen Stellungen der Augen, unter jedem Convergenzwinkel der Sehaxen also, die oben für einen bestimmten Convergenzwinkel gefundene Neigung der verticalen Trennungslinien gegen den horizontalen Meridian, nämlich der Winkel von 88⁰ 17', immer ein und dieselbe, so würde die verticale Horopterlinie, die durch jene Linien repräsentirt ist, eine je nach der Grösse des Convergenzwinkels, d. h.

je nach der Entfernung des fixirten Punktes, verschiedene Neigung haben, was sich sogleich aus der Betrachtung des Ausdrucks:

$$cot\ 88^0\ 17' = cot\ n. \frac{g}{r}$$

ergiebt, worin g eine Constante, die Hälfte der Grundlinie, und r die wechselnde Entfernung des fixirten Punktes von der Mitte der Grundlinie bedeutet. Es würde sich unter der genannten Voraussetzung ergeben müssen, dass der Winkel n bei wachsendem r kleiner würde, die Neigung des Horopters also für einen ferneren Fixirpunkt beträchtlicher wäre, mehr von der senkrechten Richtung abwiche, als für einen näher gelegenen Fixirpunkt. Das Ergebniss der Versuche ist nun folgendes.

Der Winkel, welchen die verticale Trennungslinie mit dem horizontalen Meridiane der Retina einschliesst, nähert sich immer mehr einem rechten, je weiter der fixirte Punkt sich von der Grundlinie entfernt, je kleiner also der Convergenzwinkel der Sehaxen wird. Ist letzterer = Null geworden, d. h. wird ein unendlich ferner Punkt fixirt, stehen die Sehaxen nahezu parallel, so ist die Neigung der verticalen Trennungslinien = 90^0, sie stehen senkrecht zum horizontalen Meridiane, fallen mit den verticalen Meridianen zusammen. Je grösser der Convergenzwinkel der Sehaxen wird, je näher der fixirte Punkt liegt, desto mehr weicht die Richtung der Trennungslinien von der senkrechten ab. In der beistehenden Tabelle wird sich dies übersehen lassen.

Es ist in diese Zusammenstellung das Material für die Berechnung mit aufgenommen, und es bedeutet r die Entfernung des fixirten Punktes von der Mitte der Grundlinie, welche von 8 Cm. bis 58 Cm. allmählich zunimmt. p bedeutet die Entfernung, in welcher sich die zur Beobachtung gebrauchte indirect gesehene Linie von der Mitte der Grundlinie befand. Die erste Winkelgrösse in jeder Hauptcolumne bezeichnet den Winkel, unter welchem bei den einzelnen Sehweiten, r, die verticale Trennungslinie gegen den horizontalen Meridian geneigt ist. (Immer in dem Sinne, wie es zuvor gefunden wurde, in der Richtung der Linien TM und LN in Fig. 6.) Dieser Winkel wächst von $86^0\ 58'$ bis zu $89^0\ 15'$. Die zweite, kleinere Winkel-

Neigung der Visirebene	r 8 Cm.	p 11 Cm.	r 9,5	p 15	r 10	p 19	r 12	p 15	r 15	p 17	r 17	p 19	r 23	p 25	r 26	p 28	r 29	p 33	r 37	p 40	r 45	p 48	r 58	p 61
0°	86° 58′	11°	87° 34′	12°	87° 45′	14°	87° 59′	10°	88° 13′	10°	88° 15′	10°	88° 17′	14°	88° 35′	13°	88° 54′	12°	89° 10′	11°	89° 14′	12°	89° 15′	15°

grösse in jeder Hauptcolumne ist, wie die Grössen p, nur Berechnungsmaterial, bezeichnet den Winkel, um welchen die indirect gesehene Linie aus der senkrechten Richtung in dem bekannten Sinne geneigt werden musste, damit ihre Doppelbilder parallel erschienen. Aus der Tangente dieser Winkel und aus den zugehörigen Grössen p berechnete sich zunächst der Winkel, welchen das Retinabild der indirect gesehenen Linie mit dem horizontalen Meridiane einschloss, welcher Winkel zugleich der Neigungswinkel der Trennungslinien war. Bestimmte Zahlenresultate konnte ich bei über die zuletzt verzeichneten Entfernungen hinausgehenden Grössen von r und p nicht beobachten; doch ist es leicht, sich davon zu überzeugen, dass bei noch weiter zunehmendem r der Winkel der Trennungslinien fortfährt, sich einem rechten Winkel zu nähern.

18.

Die Neigung, welche bei den verschiedenen Sehweiten der Horopter selbst hatte, ist nicht sogleich aus jenen Zahlen ersichtlich, sondern muss erst daraus berechnet werden. Seine Neigung ist abhängig sowohl von der Grösse r, als von dem Neigungswinkel der Trennungslinien, so zwar, dass beide Momente entgegengesetzte Wirkung ausüben. In der folgenden Tabelle sind die Neigungswinkel des Horopters für die einzelnen Fixirpunkte oder für die verschiedenen Sehweiten, bei horizontaler Visirebene, zusammengestellt.

$r =$	8 Cm.	9,5	10	12	15	17	23	26	29	37	45	58
Neig. des Horopters	81° 57′	82° 20′	82° 33′	82° 10′	81° 9′	80° 11′	77° 4′	77° 54′	79° 30′	79° 50′	78° 43′	75° 43′

Aus dieser Zusammenstellung ergiebt sich, dass anfangs, während die Sehweite von 8 bis 10 Cm. zunimmt, die Neigung des Horopters abnimmt, oder sich der senkrechten Richtung nähert. Dann aber nimmt die Neigung in der vierten bis siebenten Columne zu. Bei 26 Cm. entferntem Fixirpunkte ist wiederum eine Abnahme der Neigung bemerklich, welcher in der vorletzten Reihe, bei 45 Cm. entferntem Fixirpunkte, abermals eine Zunahme folgt.

Diese Schwankungen in dem Neigungswinkel des Horopters, während doch gleichzeitig die Neigung der verticalen Trennungslinien in stätiger Abnahme begriffen ist, werden nicht auffallend erscheinen, wenn man Folgendes erwägt. Bliebe der Neigungswinkel der Trennungslinien der Netzhaut bei allen Grössen von r ein und derselbe,

so würde sich, wie schon bemerkt, bei Wachsen von r eine stätige Zunahme der Neigung des Horopters, d. h. eine zunehmende Abweichung von der senkrechten Richtung ergeben. Der Grund hiervon liegt, um es kurz auszudrücken, in der perspectivischen Vergrösserung von unter den vorliegenden Umständen gesehenen Winkeln. Der Einfluss dieser perspectivischen Winkelvergrösserung macht sich in jener Versuchsreihe abwechselnd geltend mit dem Einflusse, welchen die Abnahme der Neigung der verticalen Trennungslinien auf die Neigung des Horopters ausübt, ein Einfluss, der, wenn er ausschliesslich statt fände, eine entsprechend stätige Abnahme der Neigung des Horopters bedingen müsste. Anfangs sehen wir diesen Einfluss vorwalten; dann prävalirt eine Zeitlang der Einfluss der perspectivischen Winkelvergrösserung, so dass trotz der fortschreitenden Abnahme der Neigung der Trennungslinien dennoch der Horopter eine Zunahme der Neigung zeigt. So begegnen sich gleichsam diese beiden einander entgegen wirkenden Momente mehre Male, während die Sehweite allmählich wächst, und es würden sich bei fortgesetzter Zahlenreihe noch mehre derartige Schwankungen in der Neigung des Horopters ergeben. Die Umstände, unter welchen ich die fragliche Versuchsreihe anstellte, wie ähnliche der Art oft wiederholt sind, gestatteten nicht, weitere Zahlenresultate bei zunehmender Entfernung des fixirten Punktes zu erhalten. Zuletzt muss natürlich der Einfluss der Neigung der verticalen Trennungslinie den der perspectivischen Winkelvergrösserung besiegen, und der Horopter nähert sich endlich der zur Visirebene senkrechten Richtung, welche erreicht ist, wenn die verticale Trennungslinie mit dem verticalen Meridiane der Retina zusammenfällt. Der rechte Winkel erleidet unter den hier in Betracht kommenden Umständen keine Veränderung im Retinabilde, eine senkrecht zur Visirebene stehende Linie entwirft ein Retinabild, welches ebenfalls senkrecht zum horizontalen Meridiane steht: sind die Sehaxen nahezu oder wirklich parallel gerichtet, bei horizontaler Visirebene, so steht der Horopter senkrecht zur Visirebene.

19.

Ich komme nun zu der zweiten Klasse der symmetrischen Augenbewegungen, nämlich zu den Neigungen der Sehaxen gegen den Horizont, und es ist zu untersuchen, wie sich die verticalen Trennungslinien und der Horopter verhalten, wenn die Visirebene, statt wie bisher mit der Horizontalen zusammen zu fallen, verschiedene Winkel mit derselben einschliesst. Es soll dies zunächst bei ein und

demselben Convergenzwinkel der Sehaxen untersucht werden, um zuletzt beiderlei Bewegungen der Augen vereint in Betracht zu ziehen, d. h. in jeder Neigung der Visirebene den Convergenzwinkel der Sehaxen wachsen und abnehmen zu lassen.

Um diese Versuche auszuführen, kam es vor Allem darauf an, die Bewegungen der Augen ganz von den Bewegungen des Kopfes zu isoliren und letzterem eine feste, unveränderliche aufrechte Stellung zu geben. Mit Genauigkeit dies zu bewerkstelligen, ist nicht leicht, und es bedarf grosser Aufmerksamkeit und Ueberwindung, wenn die Bewegungen des Kopfes nicht ganz unwillkührlich denen der Augen zu Hülfe kommen sollen. Die mehrmalige Wiederholung derselben Versuche bildet, wie früher, die wichtigste Controle für die Ergebnisse. Die Vorrichtung, deren ich mich bedient habe, besteht in Folgendem.

An dem Mittelpunkte eines in Grade getheilten Kreisbogens A in Fig. 9. ist ein Balken B so befestigt, dass er, senkrecht auf dem Kreisbogen stehend, im Mittelpunkte des letzteren gedreht werden kann. Durch einen Spalt in dem Balken B können ein oder mehre (je nach Bedürfniss für spätere Versuche) Lineale befestigt werden, C, welchen somit durch Drehung des Balkens B die verschiedenen Neigungen zum Horizont ertheilt werden können.

An dem Lineale wird mittelst Klemmen ein zweiter getheilter Kreisbogen E befestigt, welcher in verschiedene Entfernungen von dem vor dem ersten Kreisbogen A befindlichen Beobachter gebracht werden kann. An dem Mittelpunkte des Kreises E befindet sich eine drehbare Axe mit einer Handhabe, um dieselbe während des Versuches leicht drehen zu können. Die Axe trägt den indirect zu sehenden Stab oder einen mit einer Linie versehenen Papierstreifen G, welchem also jede Neigung zur Visirebene, die dem Lineal C parallel läuft, ertheilt werden kann. Der fixirte Punkt F befindet sich in gleicher Höhe mit der Axe der Linie G, und diese Linie muss sich in der Verlängerung der die Mitte zwischen beiden Augen mit dem fixirten Punkte verbindenden Linie befinden, d. h. gleichweit von beiden Augen entfernt sein. An dem Mittelpunkte des Kreises A ist zugleich ein Zeiger befestigt, D, welcher auf 90^0 weist, wenn C horizontal verläuft, und zugleich mit dem Balken B sich dreht. Die Augen werden nun in die Nähe des Balkens B gebracht, wo sie in Fig. 9. angedeutet sind, und ihre Entfernung vom fixirten Punkte, so wie die Stellung des Kopfes durch einen verticalen Schirm fixirt, welcher einen horizontal verlaufenden breiten Spalt besitzt, durch welchen beide Augen ohne Beeinträchtigung hindurch sehen. Dieser

Schirm muss bei den verschiedenen Neigungen der Visirebene stets vertical bleibend höher oder tiefer gestellt werden, wie aus der Figur ersichtlich, damit die Punkte *F*, *P* und die Mitte des Spaltes im Schirm immer in einer graden Linie liegen, welche parallel dem Lineal *C* verläuft und die Richtung der Visirebene bezeichnet. Ich habe es nicht nothwendig gefunden, den Kopf etwa gewaltsam zu fixiren, was eine grössere Reihe von Versuchen, welche erheischt wird, sehr ermüdend und quälend machen würde. Der ganze Apparat wird auf irgend eine Weise an einem Stativ so befestigt, dass, wenn der Zeiger *D* auf 90° weist, das Lineal *C* horizontal liegt, ebenso muss man sich bei jeder Versuchsreihe durch ein an dem Kreisbogen *E* befindliches Senkel überzeugen, dass, wenn *C* horizontal liegt, der Durchmesser *EP* des Kreisbogens senkrecht auf *C* steht, so dass, wenn die indirect gesehene Linie *G*, die selbst den Zeiger für diesen Kreisbogen bildet, auf den Nullpunkt weist, dieselbe senkrecht zur Visirebene steht.

20.

Die Versuche ergeben nun, dass, wenn bei gleichbleibender Entfernung des fixirten Punktes und der indirect gesehenen Linie die Visirebene aus der horizontalen Richtung aufwärts geneigt wird, die Doppelbilder der senkrecht zur Visirebene stehenden Linie unter einem immer wachsenden Winkel convergiren, so dass alsbald ihr Kreuzungspunkt, wenn er vorher nur virtuell vorhanden war, ins Gesichtsfeld herabrückt, und dass also der Winkel, um welchen die Linie aus der senkrechten Richtung (immer natürlich in Bezug auf die Visirebene) gedreht werden muss, damit ihre Doppelbilder parallel erscheinen, zunimmt.

Da die Entfernungen des fixirten Punktes und des Drehpunktes der Linie dieselben geblieben sind, so können wir aus dem Angeführten sogleich schliessen, dass der Winkel, um welchen die Trennungslinien der Netzhäute von der Richtung der verticalen Meridiane abweichen, zunimmt, wenn die Sehaxen aufwärts geneigt werden, und dass ebenfalls die Neigung des Horopters für die bestimmte Sehweite, mit welcher der Versuch angestellt wurde, zunimmt. (Die Neigung des Horopters bezieht sich ebenfalls in allen Fällen nur auf die Visirebene, nicht auf den Horizont; die auf letzteren bezügliche würde sich leicht aus der jedesmaligen Neigung der Visirebene finden.)

Wird aber die Visirebene unter denselben übrigen Umständen aus der horizontalen Richtung abwärts geneigt, so nimmt der Convergenzwinkel der Doppelbilder ab; die Linie braucht nur um einen

stets kleiner werdenden Winkel aus der verticalen Richtung bewegt zu werden, damit ihre Bilder parallel erscheinen. Auch hieraus ist sogleich zu schliessen, dass bei abwärts gerichteten Sehaxen die verticalen Trennungslinien der Netzhäute sich der Richtung der Meridiane nähern, und dass die Neigung des Horopters abnimmt. Diese Abnahme der Neigung erfolgt, bis dass die Visirebene zwischen 40° und 50° unter den Horizont geneigt ist; dann beträgt die Neigung = Null, d. h. die Doppelbilder der senkrecht stehenden Linie erscheinen parallel, die verticalen Trennungslinien der Netzhäute fallen mit den Meridianen zusammen und der Horopter steht senkrecht zur Visirebene.

Wird nun die Neigung der Visirebene weiter fortgesetzt, so zeigt sich, dass, während in allen bisher betrachteten Augenstellungen die Abweichung der Lage rechtseitiger Doppelbilder vom Parallelismus in einer Convergenz nach Oben bestanden hat, jetzt die Doppelbilder der senkrecht zur Visirebene stehenden Linie nach Unten convergiren. Damit sie parallel erscheinen, muss die Linie nicht, wie bisher, mit ihrem oberen Theile rückwärts, vom Beobachter weg, geneigt werden, sondern vorwärts, nach dem Beobachter zu. Der Horopter hat jetzt nicht eine von Oben nach Unten schräg auf den Beobachter zu laufende, sondern im Gegentheil eine von Unten nach Oben gegen den Beobachter aufsteigende Richtung, aber, was wohl zu bemerken, immer nur in Beziehung auf die jeweilige Visirebene, aus deren Neigung sich dann erst die des Horopters in Beziehung auf den Horizont ergiebt. Ebenso ist sogleich ersichtlich, dass die verticalen Trennungslinien der Netzhäute, die bisher von Aussen Oben nach Innen Unten (Fig. 6.) gerichtet waren, dann, bei 45° Abwärts-Neigung der Visirebene, grade von Oben nach Unten, vertical, verliefen, jetzt schräg von Innen Oben nach Aussen Unten auf jeder Netzhaut gerichtet sind. Die Neigung aller Theile in dem besprochenen Sinne nimmt zu, je weiter die Visirebene über 45° hinaus abwärts geneigt wird. Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung, die das Angeführte veranschaulichen möge.

Neigung der Visirebene	$r=23$ $p=25$ Cm.
— 40°	— 25°
— 35°	— 23°
— 30°	— 22°
— 20°	— 19°
— 10°	— 15°
0°	— 14°
+ 10°	— 11°

Neigung der Visirebene	$r = 23$ $p =$ 25 Cm.
+ 20°	− 7°
+ 30°	− 5°
+ 40°	− 2,5°
+ 45°	0°
+ 50°	0°
+ 60°	+ 3°
+ 70°	+ 7°
+ 75°	+ 11°

Die erste Columne enthält die verschiedenen Neigungswinkel der Visirebene, meistens von 10 zu 10° von 40° über dem Horizonte bis zu 75° unterhalb desselben, in einem Umfange also von 115°; die Neigung oberhalb des Horizonts ist mit dem Zeichen —, diejenige unterhalb mit dem Zeichen + bezeichnet. Die Zahlen der zweiten Columne sind die Winkelgrössen, um welche die 25 Cm. weit entfernte Linie aus der zur Visirebene senkrechten Richtung geneigt werden musste, damit ihre Doppelbilder bei dem 23 Cm. entfernten Fixirpunkte parallel erschienen. Bestand diese Neigung in Abwärtsbewegung nach Hinten (vom Beobachter weg), so wurde das Zeichen — vorgesetzt, bestand sie, wie es bei Neigung der Visirebene über + 50° der Fall ist, in Abwärtsbewegung nach vorn, so wurde das Zeichen + vorgesetzt.

21.

Da die Grössen r und p dieselben blieben, so geben die Zahlen der zweiten Columne in der letzten Tabelle sogleich ein Mass für die Winkel, welche die verticalen Trennungslinien der Netzhäute bei den verschiedenen Neigungen der Sehaxen mit den horizontalen Meridianen einschliessen. In der folgenden Tabelle sind diese Winkel, auf bekannte Weise berechnet, zusammengestellt.

$r = 23$ Cm.

Neigung der Visirebene	Neigung der verticalen Trennungslinien.
— 40°	— 86° 48′
— 35°	— 87° 1′
— 30°	— 87° 14′
— 20°	— 87° 38′
— 10°	— 88° 10′
0°	— 88° 17′
+ 10°	— 88° 40′
+ 20°	— 89° 9′

$r = 23$ Cm.

Neigung der Visirebene	Neigung der verticalen Trennungslinien.
+ 30°	— 89° 25′
+ 40°	— 89° 42′
+ 45°	90°
+ 50°	90°
+ 60°	+ 89° 38′
+ 70°	+ 89° 5′
+ 75°	+ 88° 40′

Die Neigungswinkel der Visirebene sind, wie oben, mit dem Zeichen — oder + mit der angegebenen Bedeutung bezeichnet. Die Zahlen der zweiten Columne sind die Winkel, welche bei der Sehweite von 23 Cm. die verticalen Trennungslinien der Netzhäute mit den horizontalen Meridianen bei den verschiedenen Neigungen der Sehaxen einschliessen, und es bedeutet das Zeichen —, dass dieser Winkel auf der oberen Hälfte der Retina Aussen vom verticalen Meridiane liegt (vergl. Fig. 6. *TM* und *LN*). Das Zeichen + bedeutet die entgegengesetzte Richtung der Trennungslinien.

Es ergiebt sich also, dass bei der Sehweite von 23 Cm., während die Visirebene sich von — 40° bis + 75° (115°) bewegt, die verticalen Trennungslinien sich von — 86° 48′ bis + 88° 40′ drehen, im Ganzen um 4° 32′, und zwar fällt der zwischen den beiden letzten Winkelgrössen liegende Nullpunkt, d. h. 90° Neigung, zusammen mit etwa + 45° Neigung der Visirebene. Ein ganz entsprechendes Resultat giebt eine Versuchsreihe, die in der folgenden Tabelle zusammengestellt ist, in welcher die verschiedenen Neigungen der Visirebene bei einem 8 Cm. vom Mittelpunkte der Grundlinie entfernten Fixirpunkte verzeichnet sind mit den Winkeln (in der zweiten Columne), um welche die indirect gesehene Linie, welche 11 Cm. entfernt war, bis zum Parallelismus ihrer Doppelbilder geneigt werden musste, und mit den daraus berechneten Winkeln, welche die Trennungslinien der Netzhäute mit den horizontalen Meridianen einschliessen.

	$r = 8$ Cm.	$p = 11$ Cm.
Neigung der Visirebene		Neigung der Trennungslinien
— 40°	— 28°	— 81° 45′
— 30°	— 18°	— 84° 56′
— 20°	— 15°	— 85° 49′
— 10°	— 12°,5	— 86° 32′
0°	— 11°	— 86° 58′
+ 10°	— 7°,5	— 87° 56′

Neigung der Visirebene	$r=8$ Cm.	$p=11$ Cm. Neigung der Trennungslinien
+ 20°	— 5°	— 88° 38′
+ 30°	— 2°,5	— 89° 19′
+ 40°	0°	90°
+ 45°	0°	90°
+ 50°	+ 2,5°	+ 89° 19′
+ 60°	+ 6°	+ 88° 20′

Die Zeichen haben die bekannnte Bedeutung; es ist ersichtlich, dass auch bei diesem Convergenzwinkel der Sehaxen, welcher beiläufig ein sehr beträchtlicher ist, die verticalen Trennungslinien sich von — 81° 45′ bis + 88° 20′, im Ganzen also um beinahe 10° bewegt haben, während die Visirebene sich von — 40° bis + 60° herabneigt, im Ganzen also sich um 100° bewegt. Wie in der vorigen Versuchsreihe, fällt auch in dieser die Richtung der Trennungslinien mit der der Meridiane dann zusammen, wenn die Neigung der Visirebene zwischen + 40° und + 50° beträgt.

Wie sich der Horopter selbst in den beiden Versuchsreihen verhalten wird, lässt sich im Voraus vermuthen, da der fixirte Punkt in jeder Reihe eine bestimmte Entfernung von der Grundlinie behielt, während der verschiedenen Neigungen der Visirebene. Seine Neigung zu letzterer wird ganz entsprechend der Neigung der verticalen Trennungslinien sich verhalten, und die Winkelgrössen werden abgeleitet, indem man die Cotangenten der für die Trennungslinien gefundenen Winkelgrössen mit $\frac{r}{3}$ multiplicirt. In der folgenden Tabelle sind die Neigungen des Horopters gegen die Visirebene für die beiden letzten Versuchsreihen zusammengestellt.

Neigung der Visirebene	Neigungen des Horopters. $r=23$ Cm.	$r=8$ Cm.
— 40°	— 66° 48′	— 68° 51′
— 35°	— 68° 13′	
— 30°	— 69° 40′	— 76° 42′
— 20°	— 72° 25′	— 78° 24′
— 10°	— 76° 13′	— 80° 40′
0°	— 77° 4′	— 81° 57′
+ 10°	— 79° 53′	— 84° 30′
+ 20°	— 83° 30′	— 86° 22′
+ 30°	— 85° 25′	— 88° 11′
+ 40°	— 87° 42′	fast 90°
+ 45°	90°	90°

Neigung der Visirebene	Neigungen des Horopters.	
	r=23 Cm.	r=8 Cm.
+ 50°	90°	+ 88° 11′
+ 60°	+ 87° 11′	+ 85° 34′
+ 70°	+ 83° 1′	
+ 75°	+ 79° 53′	

Die Zeichen + und — sind in demselben Sinne gebraucht, wie vorher für die Richtung der indirect gesehenen Linie bei Parallelismus ihrer Doppelbilder.

22.

Schon bei der Vergleichung der beiden Tabellen, welche die Neigungen der verticalen Trennungslinien bei verschiedenen Neigungen der Visirebene enthalten, das eine Mal für den 23 Cm., das andere Mal für den 8 Cm. entfernten Fixirpunkt, ist zu vermuthen, dass das, was oben für die horizontale Visirebene (Neigung = 0) nachgewiesen wurde, für jede Neigung gelten wird, dass nämlich die Richtung der verticalen Trennungslinien sich bei jeder Neigung der Sehaxen mehr und mehr der Richtung der verticalen Meridiane nähern wird, je kleiner der Convergenzwinkel der Sehaxen wird. Bei 8 Cm. Sehweite ist die Neigung der Trennungslinien durchgehends grösser, als unter gleicher Neigung der Sehaxen bei 23 Cm. Sehweite. Nur bei der Neigung der Sehaxen um + 40° bis + 45° ist die Richtung der Trennungslinien bei beiden Convergenzwinkeln gleich, nämlich senkrecht zum horizontalen Meridian.

Um dies nun zu beweisen, bedarf es einer Reihe von Versuchen unter verschiedenen Sehweiten, von denen ich eine Anzahl in der folgenden Tabelle zusammengestellt habe.

Neigung der Visirebene	8 Cm.		9,5 Cm.		10 Cm.		12 Cm.		15 Cm.		17 Cm.	
	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H
−40°	−81° 45′	−68° 51′										
−30°	−84° 56′	−76° 42′					−86°	−74° 22′				
−20°	−85° 49′	−78° 24′					−86° 50′	−77° 32′				
−10°	−86° 32′	−80° 49′					−87° 40′	−80° 44′				
0°	−86° 58′	−81° 57′	−87° 34′	−82° 20′	−87° 45′	−82° 32′	−87° 59′	−81° 59′	−88° 13′	−81° 9′	−88° 15′	−80° 11′
+10°	−87° 56′	−84° 30′	−88° 23′	−84° 54′			−88° 40′	−84° 41′	−88° 45′	−83° 46′	−88° 53′	−83° 42′
+20°	−88° 38′	−86° 22′	−89° 10′	−87° 22′			−89° 18′	−87° 12′	−89° 21′	−86° 45′	−89° 24′	−86° 35′
+30°	−89° 19′	−88° 11′	−89° 14′	−87° 34′			−89° 22′	−87° 28′	−89° 22′	−86° 50′	−89° 25′	−86° 42′
+40°	90°	90°	90°	90°			90°	90°	−89° 56′	−89° 40′	90°	90°
+45°	90°	90°	90°	90°			90°	90°	90°	90°	90°	90°
+50°	+89° 19′	+88° 11′					+89° 20′	+87° 20′	+89° 40′	+88° 20′		
+60°	+88° 20′	+85° 34′					+88° 30′	+84° 1′	+88°	+80° 5′		
+70°												
+75°												

In dieser Zusammenstellung ist die Angabe der Entfernung der indirect gesehenen Linie und die ihrer Neigung bei Parallelismus ihrer Doppelbilder ausgelassen; beide sind nur die Hülfsmittel für die Berechnung, und nur das, was sich aus jenen beiden Momenten in bekannter Weise berechnete, ist verzeichnet, nämlich in jeder Hauptcolumne unter *T* die Winkel, die die verticalen Trennungslinien der Netzhäute mit den horizontalen Meridianen einschliessen, unter *H* die zugehörigen Neigungswinkel des Horopters gegen die Visirebene. Die Bedeutung der Zeichen wie früher.

Die Richtung der Trennungslinien nähert sich immer mehr der senkrechten Richtung, wenn man die in einer Horizontalspalte stehenden Zahlen vergleicht, während der Fixirpunkt sich von den Augen entfernt. Ebenfalls nähert sich die Richtung jener Linien der senkrechten, wenn man die vertical herablaufenden Spalten überblickt, während die Visirebene von 40° über dem Horizonte bis 45° unterhalb geneigt wird. Bei + 45° Neigung ist überall die Richtung der Trennungslinien die senkrechte und über 50° hinaus beginnt sie von dieser Richtung nach der entgegengesetzten Seite hin abzuweichen. Der Horopter zeigt, in den verticalen Columnen betrachtet, die entsprechenden Veränderungen, wie die Trennungslinien, nur in vergrössertem Massstabe, in gröberen Zügen gleichsam, wovon der Grund in der perspectivischen Vergrösserung der unter den hier in Betracht kommenden Umständen gesehenen Winkel liegt. Beim Horopter sind ganze Grade das, was einige Minuten für die Trennungslinien sind. Bei + 45° Neigung der Visirebene steht der Horopter senkrecht zu derselben, bei allen Entfernungen des Fixirpunktes. Verfolgt man die Veränderungen des Horopters in den einzelnen Horizontal-Columnen, so ist weder continuirliche Abnahme, noch Zunahme der Neigung zu bemerken, sondern ein mehrmaliges Schwanken, wie es oben schon

23 Cm.		26 Cm.		29 Cm.		37 Cm.		45 Cm.		58 Cm.		Neigung der Visirebene
T	*H*	*T*	*H*	*T*	*H*	*T*	*H*	*T*	*H*	*T*	*H*	
−86° 48′	−66° 48′											−40°
−87° 14′	−69° 40′											−30°
−87° 38′	−72° 25′											−20°
−88° 10′	−76° 13′											−10°
−88° 17′	−77° 4′	−88° 35′	−77° 54′	−88° 54′	−79° 29′	−89° 10′	−79° 50′	−89° 14′	−78° 39′	−89° 15′	−75° 48′	0°
−88° 40′	−79° 53′	−88° 55′	−80° 41′	−89° 11′	−82° 9′	−89° 24′	−82° 38′	−89° 30′	−82° 33′	−89° 32′	−81° 3′	+10°
−89° 9′	−83° 31′	−89° 21′	−84° 32′	−89° 24′	−84° 13′	−89° 38′	−85° 29′	−89° 46′	−86° 30′	−89° 50′	−86° 47′	+20°
−89° 25′	−85° 32′	−89° 34′	−86° 15′	−89° 43′	−87° 16′	−89° 51′	−88° .9′	90°	90°	90°	90°	+30°
−89° 42′	−87° 42′	−89° 53′	−88° 59′	−89° 56′	−89° 21′	90°	9 0	90°	90°	90°	90°	+40°
90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90	90°	90°	90°	90°	+45°
90°	90°											+50°
+89° 38′	+87° 11′											+60°
+89° 5′	+83°											+70°
+88° 40′	+79° 53′											+75°

bemerkt wurde. Der Grund davon liegt, wie gesagt, in den beiden einander entgegenwirkenden Momenten, von denen die Neigung des Horopters abhängt, von denen bald das eine bald das andere die Oberhand gewinnt. Die Reihen sind nicht weit genug fortgesetzt, um mit Zahlen zu belegen, wie zuletzt die Neigung der Trennungslinien überwiegend die Neigung des Horopters bestimmen muss; sind bei Parallelismus der Sehaxen die verticalen Trennungslinien senkrecht gegen die horizontalen Meridiane gerichtet, so steht anch der Horopter senkrecht zur Visirebene.

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass wir hier davon abstrahiren, dass, je weiter der Fixirpunkt sich von den Augen entfernt, der Horopter einen desto grösseren Spielraum gleichsam gewinnt, indem er gleichzeitig seine ursprüngliche Natur als Fläche allmählich verliert und eine Ausdehnung in der dritten Dimension erhält. Ein Winkel von 75⁰ etwa wird bei beträchtlicher Entfernung, unter den hier in Betracht kommenden Verhältnissen gesehen, nicht mehr als Winkel unter 90⁰ gesehen werden, und man kann daher dann sowohl von einer senkrecht stehenden Linie als von einer unter 75⁰ rück- oder vorwärtsgeneigten Linie sagen, sie sei im Horopter. Die Richtung des Horopters, mit deren Untersuchung wir uns im Bisherigen beschäftigt haben, ist gewissermassen practisch genommen Nichts weiter, als die Mitte dessen, was ich eben Spielraum des Horopters genannt habe.

23.

Wir haben das Verhalten der mittleren verticalen Horopterlinie bei den symmetrischen Augenbewegungen kennen gelernt; um das Ergebniss kurz zusammen zu fassen, so stellte sich heraus, dass dieser Horopterdurchschnitt immer eine grade Linie ist, deren Neigung zur Visirebene abhängig ist von der Neigung der verticalen Trennungslinien identischer Netzhauthälften zu den horizontalen Meridianen der Netzhäute, und in anderer und hier untergeordneter Weise auch von der Entfernung des fixirten Punktes, so fern diese dem ersten Momente entgegenwirkt. S e n k r e c h t zur Visirebene ist die Richtung des Horopters, so wie die der Trennungslinien zu den Meridianen:

a) bei Parallelismus der Sehaxen, bei allen Neigungen derselben zum Horizonte;

b) bei 45⁰ Neigung der Sehaxen unter den Horizont, bei allen Convergenzwinkeln der Sehaxen.

Man hat vermuthungsweise wohl ausgesprochen *, der mittlere

* Vergl. oben.

verticale Horopterdurchschnitt möchte eine Kreislinie, der ganze Horopter eine Kugelschale vorstellen: Hierzu hat offenbar nur die von Joh. Müller für den horizontalen Durchschnitt des Horopters gefundene Kreisform verleitet; denn abgesehen von dieser etwaigen Analogie, hätte die Kreisform für den verticalen Durchschnitt von vorn herein am Wenigsten für sich gehabt, wenigstens, vorläufig von allgemeinen Anschauungen abstrahirend, nicht mehr, als alle übrigen einfacheren Gestalten, da, wie leicht ersichtlich, die Krümmung der Retinaflächen in verticaler Richtung auf die Gestalt des verticalen Durchschnitts des Horopters weiter keinen Einfluss hat, als dass, wenn sie etwa unsymmetrisch in beiden Augen wäre, überhaupt kein verticaler Horopterdurchschnitt, keine Ausdehnung des Horopters in der Höhendimension existiren würde, so fern eine ungleiche Krümmung z. B. der beiden oberen Retinahälften es bedingen würde, dass die Retinabilder einer senkrechten oder geneigten Linie, die in allen Punkten gleich weit von beiden Augen entfernt ist, ungleiche Ausdehnung haben würden; beide Bilder würden also, bei vorausgesetzten gleichen Structurverhältnissen der Netzhäute, zwei verschiedene Grössenvorstellungen für die gesehene Linie veranlassen müssen. Sind aber, wie mit Sicherheit von vorn herein zu vermuthen war, beide Netzhäute im verticalen Durchschnitte symmetrisch, gleich gekrümmt, so konnte diese Krümmung an sich eine beliebige sein, ohne dass sie auf die Gestalt des verticalen Horopterdurchschnitts influirt hätte; und wenn, was ebenfalls anzunehmen war und angenommen ist, die Trennungslinie identischer Netzhauthälften ein grösster Kreis war, nicht etwa in der Projection eine Curve darstellte, so war nur die Form einer graden Linie für den mittleren verticalen Horopterdurchschnitt zu erwarten. Ganz anders gestaltet sich die Sache natürlich bei dem horizontalen Horopterdurchschnitte, weil dabei ein Innen der einen Retina und ein Aussen der anderen zugleich in Betracht kommen, und die Entfernung aller Punkte des horizontalen Horopterdurchschnitts, mit Ausnahme eines einzigen, eine ungleiche für beide Augen ist. Hiervon weiter unten ein Näheres.

24.

An den Erscheinungen der Doppelbilder einer in der mittleren Verticalebene auf und nieder geneigten graden Linie, welche zunächst nur Aufschluss geben sollten über die Beschaffenheit des mittleren verticalen Horopterdurchschnitts, wurde eine eigenthümliche Klasse von Bewegungen der Retina, des Auges kennen gelernt; denn es be-

darf nicht der Erwähnung, dass dieselben Ortsveränderungen, welche an einer Reihe von Punkten von bestimmter physiologischer Dignität beobachtet wurden, allen Punkten der Netzhaut und somit dem ganzen Augapfel zukommen. Aus der letzten Tabelle ist ersichtlich, dass z. B., während ein 8 Cm. entfernter Punkt fixirt wird, und während gleichzeitig die Sehaxen sich von 40° über den Horizont bis zu 60° unter denselben neigen, ein Punkt, der in der verticalen Trennungslinie der Netzhaut liegt, eine Ortsveränderung erleidet, welche in Bezug auf ein durch den Bulbus gelegtes rechtwinkliges Coordinatensystem, dessen Mittelpunkt in die Sehaxe fällt, im Winkel 9° 45′ beträgt*. Die ganze Netzhaut hat also während der genannten Bewegung diese, übrigens der unmittelbaren Wahrnehmung sich entziehende, Drehung von 9° 45′ erlitten. Ich werde unten auf diese Bewegungen und auf das, was aus ihnen über die Mechanik der Augen zu folgern ist, zurückkommen; vorläufig nur Dieses. Im strengen und richtigen Sinne des Wortes kann der Augapfel keine Rotation um die optische Axe erleiden, weil es keine Muskeln giebt, welche die optische Axe zu ihrer Drehungsaxe haben. Wohl aber sind die Verhältnisse der Muskeln und die Bewegungen des Auges so beschaffen, dass bei bestimmten Bewegungen eine auf die optische Axe projicirte Drehung des Auges stattfindet. Die in obigen Versuchen gefundene Drehung der verticalen Trennungslinien der Netzhäute findet statt, während gleichzeitig die Sehaxen Convergenzbewegungen und Neigungen gegen den Horizont erleiden, und es ist, um bei dem angeführten Beispiele zu bleiben, jener Winkel von 9° 45′ die bei jenen Bewegungen stattfindende auf die optische Axe projicirte Drehung des Auges, oder das auf die optische Axe projicirte Resultat jener Convergenz- und Neigungsbewegungen. Nach dieser Verständigung über die Bezeichnung werde ich im Folgenden die fraglichen Bewegungen des Auges schlechtweg Drehungen um die optische Axe nennen, indem ich mir eine genauere Erörterung vorbehalte, aus welcher ich vorläufig entnehme, dass diese Drehungen um die optische Axe das Resultat des Zusammenwirkens von sechs Augenmuskeln bei den Bewegungen des Auges sind, und genauer, dass sie in dem beobachteten Sinne nicht stattfinden könnten, wenn das Paar der Obliqui nicht vorhanden wäre, so dass also jene Rotationen als die Folge

* Ich muss hierbei noch bemerken, dass die Ungenauigkeiten, welche den Zahlen anhaften, überall der Art sind, dass die verzeichnete Winkelgrösse eher eine zu geringe, als eine zu grosse Abweichung von der senkrechten Richtung ergiebt.

des Mitwirkens der sogenannten schiefen Augenmuskeln bei den Bewegungen des Auges angesehen werden müssen.

Die Erscheinungen, an welchen wir bisher diese Drehungen um die optische Axe beobachtet haben, sind ein verhältnissmässig sehr feiner und genauer Massstab, indem, wenn man auch von dem absoluten Werthe der gefundenen Zahlen, welchem gewiss Fehler anhaften, vorläufig abstrahirt, Unterschiede von wenigen Minuten daran erkannt werden können, da diesen kleinen Unterschieden der Winkel verhältnissmässig grosse bei den zu den Versuchen verwendeten Erscheinungen entsprechen.

Die Erscheinungen, die wir an den Doppelbildern wahrnahmen, sind nun keinesweges die einzigen, welche über die Drehungen um die optische Axe Auskunft geben; ich werde unten noch eine Reihe anderweitiger Versuche mittheilen, die zwar nicht so leicht zu Messungen verwendet werden können, dennoch aber handgreifliche Beweise für die Richtigkeit des bisher nur bei einer Klasse objectiver Gesichtserscheinungen Beobachteten beizubringen im Stande sind. Zuvor jedoch will ich versuchen, die Aufgabe, die Beschaffenheit und Gestalt des Horopters experimentell zu ermitteln, zu Ende zu bringen.

25.

Nachdem wir die Beschaffenheit des mittleren verticalen Horopterdurchschnitts kennen gelernt haben, ist nun die seines horizontalen mittleren Durchschnitts zu untersuchen, desjenigen Theiles des Horopters, welcher in der Visirebene liegt, welcher bislang allein Gegenstand der Untersuchung gewesen ist und welchen Joh. Müller a priori als Kreis in der bekannten Weise bestimmt hat.

In Fig. 10. bedeuten die beiden Kreise wiederum Projectionen der beiden Netzhäute; die Linien *TM* und *LN* sind die beziehungsweise verticalen Trennungslinien, welche die Netzhäute in zwei entsprechende, identische Hälften, Aussen und Innen theilen. Wir sahen nun, dass diese beiden Linien nur dann senkrecht zu den horizontalen Meridianen *AB* und *CD* stehen, wenn entweder die Sehaxen parallel gerichtet, oder 45° unter den Horizont geneigt sind. (Die in der Figur verzeichnete Richtung von *TM* und *LN* setzt eine Neigung der Sehaxen oberhalb der eben genannten von + 45° voraus.) Die Linien nun, welche die Netzhäute in zwei entsprechende oder identische Hälften, Oben und Unten, theilen, die beziehungsweise horizontalen Trennungslinien sind natürlich ganz denselben Drehungen unterworfen, welche die verticalen Trennungslinien erleiden. Setzen wir

nun voraus, wozu wir, abgesehen von den bestätigenden Ergebnissen der folgenden Versuche, wohl a priori berechtigt sind, dass die horizontalen Trennungslinien rechtwinklig zu den verticalen verlaufen, so dass also die beiden Trennungslinien jede Retina in vier gleiche Quadranten theilen, so versteht es sich von selbst, dass die horizontalen Trennungslinien nur dann mit den horizontalen Meridianen zusammenfallen, nur dann wirklich horizontal verlaufen, wenn die verticalen Trennungslinien mit den verticalen Meridianen zusammenfallen, nur dann also, wenn die Sehaxen parallel oder 45° unter den Horizont gerichtet sind. In allen übrigen Augenstellungen bilden die horizontalen Trennungslinien *FG* und *HK* einen Winkel mit den Meridianen *AB* und *CD*, welcher, so wie dem Sinne nach entsprechend, gleich ist dem Winkel, welchen *TM* und *LN* mit den verticalen Meridianen einschliessen.

Alle Punkte der Visirebene nun entwerfen ihre Bilder auf den horizontalen Meridianen *AB* und *CD*; diese Bilder liegen also nur dann in den horizontalen Trennungslinien, wenn diese mit den Meridianen zusammenfallen, und es ergiebt sich, dass streng genommen bei allen übrigen Augenstellungen kein einziger Punkt der Visirebene ausser dem fixirten Punkte sein Bild in den horizontalen Trennungslinien hat. Dies heisst aber Nichts Anderes, als dass es bei alle den Augenstellungen, bei welchen die beziehungsweise horizontale Trennungslinie nicht horizontal gerichtet ist, streng mathematisch genommen, gar keinen horizontalen Durchschnitt des Horopters, gar keine Ausdehnung des Horopters in der Visirebene giebt. Von einer in der Visirebene liegenden mit der Grundlinie parallel verlaufenden Linie, oder auch von jeder anderen, gekrümmt oder schräg in jener Ebene verlaufenden wird, streng genommen, immer nur der fixirte Punkt einfach gesehen werden können, wenn nicht die horizontalen Trennungslinien mit den horizontalen Meridianen zusammenfallen. Dies gilt nun auch, wenn wir obige Voraussetzung nicht gemacht hätten, dass nämlich die horizontalen Trennungslinien senkrecht zu den verticalen verlaufen; bei jeder auf letztere bezüglichen Richtung der ersteren würde es gleichfalls nur eine Stellung der Netzhäute geben, bei welcher der Horopter eine Ausdehnung in der Dimension der Breite hätte, nur würde diese Augenstellung dann nicht mit derjenigen identisch sein, bei welcher der Horopter senkrecht zur Visirebene steht. Anticipiren wir aber dem Folgenden, dass *FG* und *HK* in Fig. 10. senkrecht zu *TM* und *LN* gerichtet sind. Nicht nur in der Visirebene giebt es bei allen Augenstellungen, in welchen *FG* und *HK* nicht horizontal verlaufen, keine Punkte des Horopters ausser dem fixirten Punkte, sondern der Ho-

ropter hat überhaupt keine Breitendimension, ist überhaupt dann keine Fläche. Es kann keine Linie im Raume geben, deren Retinabilder in die Richtung der nicht horizontal verlaufenden Linien *FG* und *HK* fielen, so dass sich entsprechende Punkte der Bilder auf sich entsprechenden Punkten der beiden Linien lägen. Denkt man sich die beiden Netzhäute in der in Fig. 10. verzeichneten gegenseitigen Stellung über einander geschoben, so decken sich von allen identischen Punkten nur die physiologischen Mittelpunkte, alle übrigen identischen Punkte sind gegen einander um das Doppelte der oben genannten Winkel, um welche die jedesmalige Drehung um die optische Axe stattgefunden hat, verschoben. Die Bilder aller Punkte im Raume liegen daher auf den Netzhäuten so, dass sie in dem gemeinschaftlichen Sehfelde um das Doppelte jenes Winkels (auf den fixirten Punkt bezogen) von einander entfernt erscheinen, sie werden alle doppelt gesehen, mit alleiniger Ausnahme aller der Punkte, deren Bilder in den verticalen Trennungslinien liegen, nämlich die Punkte in der mittleren, beziehungsweise verticalen Horopterlinie. Eine solche würde es bei allen, auch noch so beträchtlichen Drehungen der Netzhäute um die optische Axe geben; sie würde bei 90° Drehung um diese Axe zu einer horizontalen Horopterlinie geworden sein, so fern dann *TM* und *LN* mit den horizontalen Meridianen zusammenfallen, aber dann die beiden äusseren Netzhauthälften und die beiden inneren identisch sein würden. Eine wirklich senkrechte Horopterlinie giebt es, wie wir sahen, auch nur dann, wenn eine horizontale existiren kann, wenn eine Horopterfläche vorhanden sein kann. In alle den Augenstellungen, bei welchen eine auf die optische Axe projicirte Drehung stattgefunden hat, ist die bisher untersuchte beziehungsweise verticale Horopterlinie der Horopter selbst, ausser ihr giebt es, streng genommen, keinen Punkt des Horopters mehr. Sobald aber die auf die optische Axe projicirte Drehung = Null ist, d. i., wenn die verticale Horopterlinie wirklich senkrecht zur Visirebene steht, so ist der Horopter eine Fläche, deren Gestalt in horizontaler Richtung nun noch zu untersuchen ist.

Zunächst will ich einige Versuche angeben, welche das, was so eben bezüglich der Nichtexistenz eines horizontalen Horopterdurchschnitts bei den Augenstellungen, die mit Drehungen um die optische Axe verbunden sind, abgeleitet wurde, zur Wahrnehmung bringen.

26.

Hält man bei horizontaler Visirebene eine grade Linie horizontal vor die Augen, aber in geringer Entfernung, etwa 8—10 Cm. von der Nasenwurzel entfernt, und fixirt man einen von beiden Augen gleichweit entfernten Punkt der Linie, so wird die ganze übrige Linie doppelt gesehen in der Gestalt eines liegenden (flachen) Kreuzes mit sehr kleinen Winkeln rechts und links vom fixirten Punkte. Die Erscheinung war zu erwarten; denn es seien AB und CD in Fig. 10. die Retinabilder der Linie, so liegt kein Punkt im Horopter ausser dem fixirten, dessen Bild in P und Q ist. Von den beiden, einem Theile des Objects entsprechenden, Theilen der Retinabilder AP und CQ, liegt AP in einem oberen Quadranten identischer Netzhautpunkte, CQ in einem unteren, beide Bilder erscheinen daher um das Doppelte des Winkels o um den fixirten Punkt gegen einander gedreht. Ebenso verhalten sich die Retinabilder des anderen Theiles des Objects, PB und QD. Kurz das Kreuz, unter welchem die Doppelbilder jener Linie erscheinen, ist genau demjenigen gleich, welches die horizontalen Trennungslinien FG und HK beim Aufeinanderlegen der beiden Netzhäute bilden; man sieht in den Doppelbildern unmittelbar die Richtung der Trennungslinien, den Winkel, um welchen eine Drehung um die optische Axe stattgefunden hat, grade so, wie in den Doppelbildern einer senkrecht stehenden Linie die Richtung der verticalen Trennungslinien. Ich kann nicht unterlassen, hierbei zu bemerken, dass die Erscheinung der gekreuzten Doppelbilder der horizontalen Linie mir stets in so fern etwas Auffallendes, etwas Paradoxes dargeboten hat, als bei der Erscheinung die Abweichung der Richtung jedes Bildes von der Horizontalen gewissermassen nur durch die K r e u z u n g, oder a l s Kreuzung beider wahrgenommen wird; man wird sich nicht einer positiven, absoluten Neigung jedes einzelnen Bildes gegen den Horizont bewusst, sondern nur der Kreuzung zweier, an und für sich horizontal erscheinender Linien, die dann freilich nur unter Abweichung von der horizontalen Richtung geschehen kann. Es ist dies Paradoxon der Natur der Sache vollkommen entsprechend. Wird das eine Auge geschlossen, so sieht man eine horizontale Linie stets horizontal; wird dieselbe Linie mit beiden Augen gesehen, so sieht jedes Auge die Linie ebenfalls horizontal, aber beide Bilder haben nun im gemeinschaftlichen Sehfelde nur einen Punkt, in der Mitte gelegen,

gemeinsam*, sie kreuzen sich in einem Punkte: nur dieses wahrzunehmen liegt ein directer Grund vor, nicht aber dafür, die Bilder nicht horizontal zu sehen; so üben die Verhältnisse der identischen Netzhautpunkte, und das, was sie in der Gesichtserscheinung bedingen, einen Zwang auf das Urtheil aus, welchem die Momente, die sonst (bei einem Auge) von Einfluss sind, unterliegen müssen. Ich werde unten noch andere Versuche, welche dies bestätigen, angeben. Ganz dasselbe Verhältniss findet bei den convergirenden oder sich kreuzenden Doppelbildern einer senkrecht stehenden Linie statt; auch hier zwingen die Verhältnisse der identischen Netzhautpunkte zur Wahrnehmung zunächst nur der Kreuzung oder der Convergenz zweier an sich, einzeln genommen verticaler Bilder, was nun die Abweichung von der senkrechten Richtung in der Gesichtserscheinung bedingt, indessen ist mir bei diesen Doppelbildern das wirklich in der Erscheinung vorhandene Paradoxe nie so bewusst geworden, als bei den sich kreuzenden Doppelbildern einer horizontalen Linie, deren Mittelpunkt fixirt wird.

27.

Man kann den eben besprochenen Versuch mit einem der früheren verbinden, indem man ein rechtwinkliges Kreuz senkrecht zur Visirebene hält, so dass der horizontale Balken in der Visirebene liegt; fixirt man den Mittelpunkt des Kreuzes, so erscheint an der Stelle jedes der beiden Balken ein flaches Kreuz von Doppelbildern, welche beide sich im fixirten Mittelpunkte des objectiven Kreuzes schneiden. Die Winkel, unter denen sich jedes Paar der Doppelbilder kreuzt, sind gleich, wenn der senkrechte Balken senkrecht zur Visirebene steht. Die Erscheinung fällt aber leichter in die Augen, wenn man, abgesehen von grosser Nähe des fixirten Punktes, das Kreuz anfangs etwas in der dem Horopter entgegengesetzten Richtung neigt und dann allmählich aufrichtet; die Doppelbilder des horizontalen Balkens verändern sich dabei natürlich nicht; sie bleiben unter denselben Winkeln gekreuzt auch dann, wenn man den senkrechten Balken so geneigt hat, dass er ganz im Horopter liegt, also einfach gesehen wird.

Für alle diese Versuche muss man sich möglichst feiner Linien bedienen; breite Gegenstände, Stäbe etc., verdecken die Erscheinun-

* Ich werde hierauf unten bei Besprechung der Augenbewegungen zurückkommen.

gen zum Theil, wie leicht erklärlich, da es sich immer nur um kleine Winkel handelt.

Mit dem Bisherigen übereinstimmende Erscheinungen zeigen sich, wenn nicht, wie eben, ein Punkt der horizontalen Linie selbst, sondern ein vor oder hinter derselben gelegener Punkt fixirt wird. Die Beschaffenheit der Doppelbilder erleidet aber eine nennenswerthe Modification. In Fig. 10. bedeuten P und Q die Bilder des fixirten Punktes; eine in der Visirebene weiter entfernt gelegene grade Linie soll sich so verhalten, dass die Bilder ihres Mittelpunktes in a und α liegen; dann sind b und β die Bilder ihres einen Endpunktes, c und γ die ihres anderen Endpunktes. Diese beiden Retinabilder bac und $\beta\alpha\gamma$ haben in dem gemeinschaftlichen Sehfelde nur einen Punkt gemeinsam, nämlich die beiden Mittelpunkte der Netzhäute, P und Q. Aber die Figur ergiebt sogleich, dass auf diese beiden Punkte nicht die Bilder eines und desselben Objectspunktes fallen, sondern die zweier verschiedener: in P liegt das Bild eines zwischen dem Endpunkte, welchem b entspricht, und der Mitte gelegenen, in Q das Bild eines zwischen dem anderen Endpunkte und der Mitte gelegenen Punktes. Diese beiden Bildpunkte aber müssen sich dennoch decken, weil P und Q identische Punkte sind, und es ist dies einer der Fälle, in welchen jeder Punkt der Linie wirklich doppelt gesehen wird, trotzdem dass sich zwei Punkte der Doppelbilder decken, an einem und demselben Orte im gemeinsamen Sehfelde erscheinen: dieser Kreuzungspunkt entspricht zwei verschiedenen Objectpunkten. Wie die Erscheinung im Uebrigen sein wird, lässt sich ableiten: Das Bild bac liegt von P bis c in einem oberen Quadranten, wird also schräg abwärts gerichtet erscheinen, so wie von P bis b schräg aufwärts; umgekehrt liegt das Bild $\beta\alpha\gamma$ von Q bis β in einem unteren Quadranten, wird also schräg aufwärts gerichtet erscheinen, und mit dem kleineren Theile von Q bis γ abwärts. Fig. 11. giebt ein Bild von der Configuration der Doppelbilder unter diesen Umständen.

28.

Ganz dasselbe, was wir oben für die Erscheinungen der Doppelbilder senkrechter Linien gültig gefunden haben, findet nun auch bei denjenigen der Doppelbilder horizontaler Linien Anwendung. Die Kreuzung wird immer weniger auffallend, der Kreuzungswinkel nimmt ab, je mehr sich die Sehaxen dem Parallelismus nähern, umgekehrt wächst der Kreuzungswinkel, je grösser der Convergenzwinkel der Sehaxen wird. Der Kreuzungswinkel selbst ist immer das Dop-

pelte des oben für die verschiedenen Sehweiten gefundenen Drehungsmoments der Netzhaut um die optische Axe. Was in Betreff des Convergenzwinkels der Sehaxen gilt, gilt auch hinsichtlich des Neigungswinkels. Die bei den letzten Versuchen beschriebenen Erscheinungen nehmen zu, wenn die Visirebene aus der horizontalen Richtung aufwärts geneigt wird, und es ist daher zu empfehlen, um die fraglichen Erscheinungen recht deutlich und auch leichter wahrzunehmen, die Versuche anfangs bei aufwärts gerichteten Sehaxen anzustellen, von wo ab man dann die allmähliche Abnahme des Kreuzungswinkels beobachten wird, während die Visirebene nach und nach herabgeneigt wird. Je mehr man sich der Neigung von $+ 45^0$ nähert, desto kleiner wird der Kreuzungswinkel der Doppelbilder, und bei dieser Neigung der Visirebene decken sich die Doppelbilder der in der Visirebene hinter dem fixirten Punkte liegenden Linie mit den Theilen bP und γQ, sie erscheinen in einer graden Linie; wurde ein Punkt der Linie selbst fixirt, so erscheint jetzt die ganze Linie einfach, so wie dann der Horopter senkrecht zur Visirebene steht. Fährt man in der Bewegung der Sehaxen fort, so beginnen dieselben Erscheinungen, wie vorher, in umgekehrter Weise aufzutreten, d. h. die Doppelbilder des Pfeils in Fig. 11. kreuzen sich nicht unterhalb der Horizontalen, sondern oberhalb, es erscheint die Umkehrung der Fig. 11. — Daraus, dass das Sichdecken der Bilder bP und γQ und resp. das Einfachsehen der ganzen Linie bei denselben Augenstellungen erfolgt, in welchen der Horopter senkrecht zur Visirebene steht (bei $+ 45^0$ Neigung), geht beiläufig hervor, dass die Voraussetzung richtig ist, dass die horizontalen Trennungslinien identischer Netzhauthälften senkrecht zu den verticalen stehen.

Die zuletzt angeführten Versuche können nun auch mit demselben Ergebniss unter der Modification angestellt werden, dass der fixirte Punkt sich hinter der horizontalen indirect gesehenen Linie befindet. Es wiederholen sich alle Erscheinungen in umgekehrter Weise, so dass, was vorher bei Richtung der Sehaxen oberhalb $+ 45^0$ eintrat, jetzt bei Richtung unterhalb $+ 45^0$ der Fall ist, und umgekehrt. Alles dieses war nach Feststellung der Bewegungen der Trennungslinien, der Drehungen des Auges um die optische Axe mit Sicherheit im Voraus abzuleiten.

29.

Es steht nun also jedenfalls fest, dass, streng mathematisch genommen, nach einer horizontalen Durchschnittslinie des Horopters nur dann gefragt werden kann, wenn entweder die Sehaxen parallel,

oder 45° unter den Horizont gerichtet sind (in letzterem Falle bei jedem Convergenzwinkel). Nur in diesen Augenstellungen existirt eine Horopterfläche, in allen übrigen giebt es nur eine stets zur Visirebene geneigte mittlere (beziehungsweise) verticale Horopterlinie, in der verticalen Medianebene.

Die unmittelbare Consequenz hieraus scheint nun die zu sein, dass überhaupt Versuche, welche über die Gestalt des horizontalen Horopterdurchschnitts Auskunft geben sollen, nur in den genannten Augenstellungen, oder da diejenigen, bei welchen die Sehaxen parallel gerichtet sind, nicht in Betracht kommen können aus leicht ersichtlichen Gründen, nur bei 45° abwärts gerichteten Sehaxen angestellt werden könnten. Dem ist nun aber doch nicht so, sondern bei jeder Neigung der Sehaxen lassen sich derartige Versuche machen, wenn auch das zu ermittelnde re vera nicht existirt, wie sich aus dem Folgenden ergeben wird.

Es sei in der Visirebene links vom fixirten Punkte ein indirect gesehener Punkt A. Die Bilder dieses Punktes werden auf beiden Netzhäuten in dem horizontalen Meridiane, in dem einen Auge auf der äusseren, in dem anderen auf der inneren Hälfte liegen; a und α in Fig. 11. seien die Bilder des Punktes A. Wenn nun die Augen eine solche Stellung haben, dass die horizontalen Trennungslinien mit den horizontalen Meridianen zusammenfallen, so liegen die Bilder a und α in den Trennungslinien, und der Punkt A wird einfach gesehen werden können, wenn wir demselben eine solche Lage im Raume geben, dass seine beiden Bilder a und α gleichweit von dem Mittelpunkte P und Q entfernt sind. Wenn aber, wie in der Figur gezeichnet ist, die horizontalen Trennungslinien FG und HK nicht mit den Meridianen zusammenfallen, so wird der Punkt A unter allen Umständen doppelt gesehen werden, und wie diese Doppelbilder erscheinen werden, lässt sich aus der Erscheinung der Doppelbilder einer horizontalen Linie, die wir oben betrachteten, schliessen: die Bilder von A werden das eine über dem anderen erscheinen, und zwar wird das Bild a, als in einem oberen Quadranten gelegen, Unten, das Bild α, als in einem unteren Quadranten gelegen, Oben erscheinen. Dass es so ist, lehrt ein einfacher Versuch. Gesetzt nun, der Objectpunkt A liegt so im Raume im Verhältniss zu den beiden Augen, dass die Entfernung von P bis a grösser oder kleiner ist, als die von Q bis α, so werden die beiden Doppelbilder nicht senkrecht über einander erscheinen, sondern in schräger Richtung über einander; die Bilder werden nicht nur in der Richtung der Höhendimension, sondern auch in der der Breitendimension gegen einander verschoben sein,

indem das eine dem fixirten Punkte näher, als das andere liegt. Ist dagegen $Pa = Q\alpha$, so werden die Bilder grade über einander liegen. Somit ist man also im Stande, bei einem derartigen Versuche, nach dem Augenmasse, denn exacte Messungsmethoden bieten sich bei alle diesen Versuchen nicht dar, dem indirect gesehenen Objectpunkte eine solche Lage in der Visirebene zu geben, dass seine Doppelbilder grade über einander erscheinen, und dies würde auf indirectem Wege zur Erkenntniss der Gestalt des gleichsam virtuell vorhandenen horizontalen Horopterdurchschnitts führen, indem man sich vorstellen kann, dass die horizontale Horopterlinie in der Mitte zwischen den beiden senkrecht über einander liegenden Doppelbildern verliefe, so wie sich umgekehrt beim Aufeinanderlegen der beiden Netzhäute in Fig. 11. die Punkte a und α, sich deckend, in der Mitte zwischen den beiden horizontalen Trennungslinien befinden. Dabei haben wir allerdings die Voraussetzung gemacht, dass die Krümmung der Retinaflächen einerseits in den Linien AP und FP, anderseits in den Linien HQ und CQ gleich ist, so dass, wenn $aP = \alpha Q$ ist bei der in der Figur gezeichneten Augenstellung, diese beiden Entfernungen auch gleich sein würden, wenn keine Drehung um die optische Axe stattgefunden hat. Da die Winkel, um welche diese Drehungen stattfinden, immer nur klein sind, so ist es wohl erlaubt, jene Voraussetzung zu machen, zumal wenn man nicht die Extreme der Augenstellungen wählt, und da sehr kleine Abweichungen in der Krümmung nicht in Betracht kommen würden. Ich werde später noch einen derartigen Versuch neben anderen angeben.

Werden nun solche Versuche, wie die eben besprochenen, nicht mit kleinen Punkten angestellt, sondern mit Objecten von einiger Ausdehnung oder mit verticalen Linien, so wird man dann, wenn die Doppelbilder dieser Objecte nur in senkrechter Richtung über einander verschoben liegen, die Existenz dieser Doppelbilder kaum wahrnehmen, weil die Bilder sich zum grössten Theile, freilich mit ungleichen Punkten, decken. Weit eher dagegen werden die Doppelbilder als solche wahrgenommen werden können, wenn gleichzeitig mit dem Uebereinanderliegen eine Verschiebung in transversaler Richtung stattfindet, d. i. also, wenn das Object eine solche Lage hat, dass seine Retinabilder nicht gleichweit von den Mittelpunkten der Netzhäute entfernt liegen. Kurz das, was wir bisher bei Anlegung eines genauen Massstabes gefunden haben, macht sich in der Praxis nicht immer mit solcher Strenge geltend, was aber natürlich für den hier vorliegenden Zweck vollkommen gleichgültig ist, und nur dazu möge das zuletzt Angeführte dienen, um es erklärlich zu machen, wie Ver-

suche, die zur Ermittlung des horizontalen Horopterdurchschnitts dienen sollten, mit Erfolg angestellt sein konnten, ohne Berücksichtigung des Factums, dass unter den Umständen, bei welchen diese Versuche wohl alle gemacht wurden, nämlich bei horizontaler oder nahezu horizontaler Visirebene, ein horizontaler Horopterdurchschnitt gar nicht existirt, oder gleichsam nur virtuell vorhanden ist.

Ich habe schon Eingangs angegeben, dass Baum zuerst derartige Versuche angestellt und angeregt hat, ohne aber die Ergebnisse der bisher beschriebenen Versuche, ohne also den Einfluss zu kennen, welchen die Bewegungen der Augen auf die Resultate der seinigen bei genauer Berücksichtigung aller Verhältnisse haben. Ich theile Baum's Versuche in fast unveränderter Gestalt mit.

30.

In Fig. 13. bedeuten A und B die beiden Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen; C ist die Mitte der Grundlinie. Wenn man eine grade Linie, etwa die schmale Kante eines Lineals, in der Richtung CF vor das Gesicht hält und die Sehaxen gegen den Punkt F, den Endpunkt des Lineals, convergiren lässt, so erscheint das ganze Lineal in verkehrten Doppelbildern, welche gegen den Punkt F convergiren, sich in ihrem Endpunkte zu berühren scheinen. Es wird nun das Lineal um den am Gesicht feststehenden Endpunkt im Kreise gedreht (wir wollen der Einfachheit wegen annehmen, es werde um den Punkt C, Mitte der Grundlinie, gedreht), so dass es etwa in die Richtung der Linie CF' fällt, während die Sehaxen aber nach wie vor auf den Punkt F gerichtet bleiben, indem entweder ein idealer, oder ein unmittelbar hinter dem Ende des Lineals (in seiner früheren Lage) befindlicher fester Punkt fixirt wird. Befindet sich in der neuen Lage der Endpunkt des Lineals F' im Horopter, so wird derselbe einfach erscheinen, d. h. die Doppelbilder werden sich wie vorher grade mit ihren Endpunkten berühren. Ist nur ein virtueller Horopter hier vorhanden, nämlich wenn die Neigung der Sehaxen nicht 45^0 abwärts beträgt, so werden die Doppelbilder des Punktes F' unter der genannten Voraussetzung nur in senkrechter Richtung ein Wenig gegen einander verschoben sein, sich grösstentheils mit nicht entsprechenden Punkten decken, wovon wir jetzt absehen wollen. Befindet sich aber der Punkt F' hinter dem Horopter, so muss der Kreuzungspunkt der Doppelbilder des Lineals, von ihrem Endpunkte herauf, dem Beobachter zu gerückt sein, und jenseits dieses Kreuzungspunktes müssen divergirende rechtseitige Doppelbilder des übrigen Theiles des Lineals

erscheinen. Liegt endlich der Punkt F' vor dem Horopter, so muss der Kreuzungspunkt der Doppelbilder des Lineals weiter hinausgerückt sein, d. h., da wir annehmen, F' ist das Ende des Lineals, die Doppelbilder desselben kreuzen oder berühren sich gar nicht mehr, sie convergiren nur, lassen aber am Ende eine Spalte zwischen sich.

Der Versuch ergiebt nun, dass das Letztere der Fall ist. Der Punkt F' in Fig. 13. liegt also vor dem Horopter. Dieser Punkt aber liegt in der Peripherie eines Kreises, welcher mit dem Radius von nahezu der Länge CF, der Entfernung des fixirten Punktes von der Nasenwurzel, beschrieben ist. Ein Kreis aber, welcher durch den fixirten Punkt und die beiden Kreuzungspunkte A und B geht (Müller's Horopter), wird mit dem Radius GF in Fig. 13. beschrieben, welcher wenig mehr als die Hälfte des Radius CF beträgt. Liegt nun ein Punkt der Peripherie des mit CF beschriebenen Kreises vor dem Horopter, so kann der mit dem Radius GF beschriebene Kreis nicht dieser Horopter für den fixirten Punkt F sein. Da nun ein Kreis, welcher mit der Entfernung des fixirten Punktes von der Nasenwurzel als Radius beschrieben wird, noch vor der horizontalen Horopterlinie verläuft, so kann schon hieraus mit ziemlicher Sicherheit vermuthet werden, dass diese Horopterlinie von einer graden, zur Grundlinie parallel verlaufenden Linie, nicht sehr verschieden sein wird, denn jener Kreis ist in fast allen Fällen so gross, dass schon das Stück von ihm, welches in das gemeinschaftliche Sehfeld fällt, von einer graden Linie nur unbeträchtlich abweicht.

31.

Man halte die Kante des Lineals abermals in der Richtung CF in Fig. 13., lasse aber die Sehaxen nicht gegen den Endpunkt des Lineals convergiren, sondern fixire einen vor dem Endpunkte F gelegenen Punkt f. Die verkehrten Doppelbilder des Lineals werden dann gegen den Punkt f convergiren, sich daselbst kreuzen und darüber hinaus als rechtseitige Doppelbilder divergiren. Es wird nun dieselbe Drehung des Lineals um den Punkt C ausgeführt, während die Sehaxen nach wie vor gegen einen in f gelegenen Punkt convergiren. Dann wird der Kreuzungspunkt der Doppelbilder allmählich hinausrücken, sich dem Endpunkte des Lineals F nähern, indem bei der Bewegung des Lineals dieses den Horopter in dem Endpunkte immer näher liegenden Punkten schneidet. Endlich wird der Endpunkt des Lineals selbst in dem Horopter liegen, die Doppelbilder des Lineals werden sich nur noch mit ihren Endpunkten berühren

oder decken. Ist man im Stande, diesen Moment wahrzunehmen, so kann man das Lineal in dieser Stellung fixiren und nun sehen, in welcher Lage sich sein Endpunkt im Verhältniss zu dem fixirten Punkte befindet. Nach Baum's und meinen Versuchen liegt der Endpunkt des Lineals, oder besser der Linie, die zum Versuche gebraucht wurde, und der fixirte Punkt dann in einer graden Linie, die parallel mit der Grundlinie verläuft.

Um bei den beiden beschriebenen Versuchen mit Sicherheit Etwas zu sehen, ist viel Uebung erforderlich, und man wird bei ihrer Ausführung bemerken, wie rasch die Deutlichkeit und Schärfe des Gesichts nach den seitlichen Theilen der Netzhäute zu abnimmt; nach meinen Erfahrungen ist diese Abnahme in horizontaler Richtung bedeutender und rascher, als in verticaler Richtung. Besonders aber ist bei den Versuchen darauf Acht zu haben, dass man nicht unbewusster Weise den Fixirpunkt verlässt und mit den Sehaxen schwankt, wozu die Versuchung, bei dem Bestreben seitlich Etwas genau zu sehen, anfangs sehr gross ist.

In dieser beträchtlichen Undeutlichkeit, mit welcher Formen seitlich gelegener Objecte wahrgenommen werden, liegt auch der Grund, weshalb ein Versuch, von welchem man a priori erwarten sollte, er müsste alle übrigen Versuche überflüssig machen, nämlich zu sehen, ob ein Object, welches sich in dem gradlinig vermutheten Horopter befindet, einfach gesehen wird, allein kein sicheres Resultat giebt, sondern der Unterstützung durch indirecte Versuche, wie die angeführten, bedarf; doch werde ich noch einen solchen directen Versuch angeben.

32.

Die Versuche, welche auf indirectem Wege Aufschluss geben über die Gestalt der horizontalen Horopterlinie, lassen sich auf manchfache Weise modificiren. Man befestige zwei Nadeln auf ein Brett, von denen die eine den Augen näher, die andere, seitlich von jener gelegen, ferner ist. Fixirt man die entferntere, indem man sie in die verticale Medianebene bringt, so erscheinen verkehrte Doppelbilder der anderen, welche nach Oben divergiren; man kann nun diese Nadel in grader Richtung rückwärts bewegen und unter Beachtung des allmählichen Sichnäherns der Doppelbilder gelingt es, den Augenblick zu bemerken, wann die Doppelbilder verschwunden sind; dies ist der Fall, wenn beide Nadeln sich in einer zur Grundlinie parallelen graden Linie befinden. Dasselbe nimmt man wahr, wenn man

die nähere Nadel fixirt und die fernere allmählich nähert. Dass bei diesen Versuchen, welche in ziemlicher Nähe angestellt werden müssen, nur dann ein wirkliches Einfachsehen des indirect gesehenen Objects stattfindet, wenn die Sehaxen dabei 45° abwärts geneigt sind, wurde schon erinnert; bei allen übrigen Neigungen tritt an die Stelle des Einfachsehens eine Verschiebung der Doppelbilder in senkrechter Richtung, so dass das eine über das andere mehr oder weniger hinausragt, und die Doppelbilder sich mit ungleichen Punkten decken.

33.

Ich füge diesen Versuchen noch die folgenden hinzu. Der erste stützt sich auf ein schon erörtertes Verhältniss, welches vermöge der Drehungen des Auges um die optische Axe bei den Doppelbildern von seitlich neben dem fixirten gelegenen Punkten stattfindet. Wenn bei horizontaler Visirebene, oder überhaupt bei Aufwärtsneigung derselben über + 45°, die Retinabilder eines in der Visirebene seitlich vom fixirten gelegenen Punktes durch die Punkte a und α in Fig. 12. dargestellt werden, so erscheinen diese beiden Bilder als Doppelbilder über einander, und zwar werden sie, wenn der Objectpunkt eine solche Lage hat, dass $aP=\alpha Q$ ist, in senkrechter Richtung über einander, wenn aber eine solche, dass aP und αQ ungleich sind, in schräger Richtung über einander erscheinen. Man nehme nun eine grade Linie und markire auf derselben drei Punkte, etwa in der Entfernung von 2 Cm. von einander. Die Linie wird horizontal und parallel der Grundlinie nahe vor die Augen gehalten und der mittelste der drei Punkte fixirt; man wird dann die übereinanderliegenden Doppelbilder der beiden seitlichen Punkte wahrnehmen. Um nun mit Sicherheit sich davon zu überzeugen, dass bei der genannten Lage der Linie die Doppelbilder wirklich möglichst senkrecht über einander erscheinen, gebe man dem Papier, worauf die Linie gezeichnet ist, eine allmählich wachsende Krümmung, so dass entweder die beiden seitlich vom fixirten gelegenen Punkte den Augen genähert oder von ihnen entfernt werden, während der fixirte Punkt die anfängliche Entfernung behält. Man wird bemerken, dass die Doppelbilder der beiden seitlichen Punkte sowohl bei der einen Bewegung als bei der anderen in transversaler Richtung aus einander weichen, ein Zeichen, dass nun die zusammengehörigen Retinabilder nicht mehr gleichweit von den Mittelpunkten der Netzhäute entfernt liegen. Schon sehr geringe Abweichungen von der graden Richtung der die Punkte verbindenden Linie bringt eine Verschiebung der Doppelbilder in transversaler Richtung

hervor, welche nicht stattfindet, wenn die Linie parallel der Grundlinie verläuft. Wir wollen die Erscheinungen, welche bei dem Versuche stattfinden, noch etwas näher ins Auge fassen.

In Fig. 14. sind *A*, *F* und *B* die drei Punkte, von denen *F* fixirt wird. Ist das Papier, auf welchem sie gezeichnet sind, nicht gekrümmt, so erscheinen diese drei Punkte in der Anordnung der mit *F*, *L* und *R* bezeichneten Punkte in Fig. 14., worin die Buchstaben *L* und *R* die Augen bezeichnen, denen jedes Bild angehört. Das Retinabild des Punktes *A* liegt im rechten Auge auf der äusseren Seite vom Mittelpunkte, und daher in einem oberen Quadranten, Fig. 12. *a*. Dies Bild erscheint links von *F* unten, in *R*. Das Retinabild des Punktes *A* im linken Auge liegt auf der inneren Seite und in einem unteren Quadranten, Fig. 12. *α*: es erscheint daher links von *F* oben, in *L*. Umgekehrt verhält es sich, wie leicht zu sehen, mit den Retinabildern des Punktes *B*, von denen das dem rechten Auge angehörige auf einem oberen Quadranten, das dem linken angehörige auf einem unteren Quadranten liegt. Wird nun das Papier so gekrümmt, dass die Concavität den Augen zugewendet ist, so nehmen die Bilder der drei Punkte die Anordnung der mit *F*, *L'* und *R'* bezeichneten Punkte in Fig. 14. an. Das Retinabild des näher gerückten Punktes *A* entfernte sich vom Mittelpunkte *P* im rechten Auge, während das entsprechende im linken Auge sich dem Mittelpunkte näherte; umgekehrt verhalten sich die Bilder des Punktes *B*. Wird das Papier so gekrümmt, dass die Convexität den Augen zugewendet wird, so ist die Anordnung der Bilder der drei Punkte die umgekehrte von der vorhergehenden, *F*, *L''*, *R''* in Fig. 14.

Endlich nun kann man sich in folgender Weise unmittelbar davon überzeugen, dass die horizontale Horopterlinie dann, wenn sie wirklich vorhanden ist, eine grade Linie ist, welche der Grundlinie parallel läuft. Hat man sich durch Ausführung der bisher beschriebenen Versuche oder ähnlicher mit den Erscheinungen der Doppelbilder vertraut gemacht, so dass man im Stande ist, auch geringe Abweichungen vom vollkommenen Einfachsehen, vom vollständigen Sichdecken der Bilder wahrzunehmen, so wird man bemerken, wie die gekreuzten Doppelbilder einer grade und horizontal vor die Augen gehaltenen graden Linie, deren Mittelpunkt fixirt wird, oder die Doppelbilder der beiden Punkte in dem letzten Versuche, beim allmählichen Abwärtsneigen der Sehaxen nach und nach sich übereinanderschieben, und dass die Linie und die Punkte vollkommen einfach, scharf und deutlich gesehen werden, wenn die Sehaxen 45^0 unter den Horizont geneigt sind. Bei dieser Augenstellung befindet sich die horizontale, der Grundlinie

parallel verlaufende Linie ganz im Horopter, dessen horizontale Durchschnittslinie, die, abgesehen von den Augenstellungen mit Parallelismus der Sehaxen, bei dieser Augenstellung allein, streng genommen, vorhanden ist, eine grade Linie darstellt.

34.

Wir sind somit auf experimentellem Wege zu dem Ergebnisse gelangt, dass sowohl die mittlere verticale, als die mittlere horizontale Durchschnittslinie des Horopters grade Linien sind, und wir schliessen daraus, dass der Horopter selbst eine grade Fläche, eine Ebene ist. Diese Horopterebene ist nur vorhanden, wenn die Sehaxen 45⁰ unter den Horizont geneigt sind, und dann steht dieselbe senkrecht zu der durch die Sehaxen gelegten Visirebene. Bei Parallelismus der Sehaxen giebt es für den Beobachter allerdings ebenfalls eine senkrecht zu der jeweiligen Visirebene stehende Horopterebene, welche aber absolut genommen, hinsichtlich der Punkte im Raume selbst, welche zugleich mit dem fixirten einfach gesehen werden, keine Ebene mehr ist, sondern ein auch in der dritten Dimension ausgedehnter, nicht scharf begränzter Theil des Raumes. Bei allen übrigen Neigungen und Convergenzwinkeln der Sehaxen giebt es nur eine mittlere verticale Horopterlinie, welche, stets mehr oder weniger zur Visirebene geneigt, in der verticalen Medianebene durch den fixirten Punkt herabläuft, und zwar bei allen Neigungen der Sehaxen oberhalb $+45^0$ (nach der obigen Bezeichnungsweise) die Richtung schräg von Oben auf den Beobachter zu hat, bei allen Neigungen unterhalb $+45^0$ schräg von Oben nach Unten sich vom Beobachter entfernend gerichtet ist. Der Winkel, um welchen diese verticale Horopterlinie gegen die Visirebene geneigt ist, hängt, wie oben näher erörtert ist, ab, einerseits von dem Winkel, um welchen bei der jeweiligen Augenstellung die Drehung um die optische Axe stattgefunden hat und anderseits noch von der Entfernung des fixirten Punktes an und für sich. (Vergl. Nr. 18.)

35.

Die Doppelbilder von Objecten pflegen uns beim Sehen nur höchst selten oder nie zu stören, ja es ist sogar oft viel Uebung und Geschicklichkeit nothwendig, dieselben als solche überhaupt nur wahrzunehmen. In so fern könnte es demnach scheinen, als ob es praktisch völlig gleichgültig sei, ob es eine Horopterfläche oder nur eine Horopterlinie giebt, da bei den meisten Augenstellungen, wie wir sahen, nur letztere vorhanden ist, und man sich schwerlich bisher eines

daraus etwa erwachsenden Nachtheils bewusst geworden ist. Es ist aber ein anderes Moment dabei zu berücksichtigen. Ein Object, dessen Doppelbilder sich nur zum Theil oder gar nicht decken, kann nicht so deutlich, so scharf gesehen werden, wie ein vollkommen einfach gesehenes, ganz abgesehen von der nur selten bewusst werdenden Doppelheit der Bilder. Die Deutlichkeit der Bilder, hauptsächlich der Formen, die scharfe Begränzung ist es, auf welche die Beschaffenheit des Horopters wesentlich influirt. Wenn eine Horopterfläche vorhanden ist, so giebt es ein ganzes Gesichtsfeld voll mit grösstmöglicher Schärfe gesehener Objecte; der Kreis dieser muss abnehmen, je weiter sich die Augen aus jener Stellung entfernen und muss am Kleinsten sein, wenn die Sehaxen so weit als möglich aufwärts gerichtet sind. Dass Letzteres der Fall ist, ist wohl meistens aus Erfahrung bekannt, und es ist leicht, sich davon zu überzeugen, welch geringen Umfang das deutliche Sehen bei dieser Augenstellung hat. Aber auffallend möchte es erscheinen, dass die horizontale Richtung der Sehaxen nicht die am Meisten bevorzugte sein soll. Sie ist es wirklich nicht, wovon man sich, abgesehen von den übereinstimmenden Ergebnissen aller indirecten Versuche, unmittelbar durch einen der schon genannten Versuche überzeugen kann. Wenn man bei horizontaler Visirebene eine grade Linie horizontal, in der Entfernung einiger Zoll, vor die Augen hält und einen Punkt derselben fixirt und dann den Eindruck, welchen man von der ganzen Linie erhält, ihr Bild mit demjenigen vergleicht, welches man unter übrigens gleichen Umständen bei 45° abwärts gerichteten Sehaxen erhält, so wird man einen sehr bemerklichen Unterschied wahrnehmen. Man wird bei der ersten Augenstellung schwerlich distincte Doppelbilder sehen, aber die Linie erscheint nicht scharf und bestimmt, wie es bei der zweiten Augenstellung der Fall ist. Es bedarf aber nicht einmal des Versuches, um in der Erfahrung das bestätigt zu finden, was die Untersuchung von anderer Seite her hinsichtlich des Vorzugs jener bestimmten Augenstellung vor den übrigen ergeben hat. Die Erfahrung ist in der That so allgemein und schon so alt, dass man sich kaum derselben noch bewusst ist; denn schauen wir uns um in der Reihe der Geschäfte und Thätigkeiten, bei welchen die Augen vorzugsweise beschäftigt sind, so geschehen sie alle nicht nur ganz unbewusster Weise und unwillkührlich, sondern auch in jeder anderen Beziehung am Natürlichsten und den übrigen Umständen am Angemessensten bei abwärts gerichtetem Blicke. Niemand wird so rasch und leicht lesen, während er horizontal grade aus sieht, wie bei abwärts gerichteten Augen. An die mancherlei hiermit übereinstimmenden allgemein verbreiteten Ein-

richtungen (z. B. Lesepulte etc.) braucht kaum erinnert zu werden. Gilt es eine grössere Zahl von Objecten zu übersehen, einen Gesammteindruck von flächenhaft ausgebreiteten Gegenständen zu gewinnen, so ziehen wir es unwillkührlich vor, die Objecte so zu halten, dass die Augen abwärts gerichtet werden müssen. Alle feinen Arbeiten der Hände pflegen ganz instinctmässig bei geneigtem Blicke ausgeführt zu werden. Der Kopf hat dabei zwar oft, so fern er ebenfalls geneigt wird, nicht seine Normalstellung; dies sollte und brauchte, bei übrigens normalen Augen, nicht stattzufinden, und völlig naturgemäss pflegt es als eine nutzlose und üble Angewohnheit zu gelten, den Neigungen der Sehaxen durch Neigungen des Kopfes zu Hülfe zu kommen. Ist man ein Mal durch die Kenntniss des Erörterten aufmerksam geworden, so wird man sich leicht der besprochenen Unterschiede der Augenstellungen bewusst werden und sie bei sehr vielen Verhältnissen, bei welchen man sich vielleicht nicht Rechenschaft davon gegeben hat, bestätigt finden. — Es giebt eine der vor Allem die Thätigkeit der Augen, wenn auch meistens nur die eines Auges, in Anspruch nehmenden Beschäftigungen, welche eine Ausnahme vor den übrigen macht, indem sie die am Meisten von jener Normalstellung abweichende Richtung der Sehaxen zu verlangen pflegt; ich meine die praktische Astronomie: wird nur ein Auge bei den Beobachtungen gebraucht, so ist freilich die Stellung des Auges hinsichtlich der fraglichen Verhältnisse völlig gleichgültig, ja sie hat sogar andere Vorzüge vor der z. B. bei der mikroskopischen Beobachtung geforderten Augenstellung; wenn aber beide Augen zugleich thätig sein sollen, so kann, worauf mich Prof. Listing aufmerksam gemacht hat, die bei aufwärts gerichteten nicht parallelen Sehaxen stattfindende Drehung um die optische Axe von störendem Einflusse auf die Beobachtung sein, und Listing ist geneigt, Differenzen in den Resultaten gewisser, unter solchen Umständen ausgeführter Messungen von verschiedenen Astronomen hierauf zurückzuführen. Ich werde weiter unten noch einen Versuch angeben, woraus zu ersehen ist, in wie fern ein solcher Einflüss stattfinden kann.

36.

Bei der bisherigen Untersuchung über den Horopter wurden immer nur die symmetrischen Augenstellungen in Betracht gezogen, diejenigen, bei welchen der fixirte Punkt gleichweit von beiden Augen entfernt ist. Es bleibt nun noch übrig, auch für diejenigen Augen-

stellungen die Lage und Zahl der gleichzeitig mit dem fixirten einfach gesehenen Punkte zu ermitteln, bei welchen die beiden Sehaxen ungleiche Winkel mit der die beiden Kreuzungspunkte verbindenden Grundlinie einschliessen. Unsymmetrische Augenstellungen in Bezug auf die Neigung der Sehaxen gegen den Horizont haben wir hier nicht in Betracht zu ziehen *. — Ich werde mich hierbei kürzer fassen können, indem ich mich auf Früheres beziehe. Der verticale mittlere Horopterdurchschnitt soll auch jetzt zuerst berücksichtigt werden.

Bei horizontaler Visirebene sei die Richtung der Sehaxen die in Fig. 15. gezeichnete, indem der Punkt F fixirt wird. AB bedeutet wieder die Grundlinie, C deren Mitte und es ist jetzt die Linie CF, welche die Richtung der zur Visirebene senkrecht stehenden verticalen Medianebene bezeichnen soll. In dem Punkte P, also in der verticalen Medianebene befinde sich eine senkrecht zur Visirebene stehende grade Linie. Die Linie erscheint in rechtseitigen Doppelbildern, welche nach Oben convergiren. Aber man bemerkt sogleich, dass diese Convergenz nicht gleichbedeutend ist mit der, welche wir oben bei symmetrischen Augenstellungen kennen gelernt haben. Dort war jedes Doppelbild um denselben Winkel gegen die Horizontale geneigt, und der Kreuzungspunkt der Bilder entsprach ein und demselben Punkte des Objects, welcher im Horopter lag. Dies ist jetzt nicht der Fall, sondern die beiden Doppelbilder zeigen eine verschiedene Neigung, sie bilden mit der Horizontalen kein gleichschenkliges, sondern ein sich dem rechtwinkligen mehr oder weniger näherndes Dreieck; und zwar ist dasjenige der Doppelbilder das weniger geneigte (gegen welches das andere unter um so grösseren Winkel convergirt), welches dem Auge angehört, dem der fixirte Punkt am Nächsten liegt, in Fig. 15. also das dem Auge A angehörige Bild. Dieses kann senkrecht erscheinen bei hinreichend seitlicher Richtung der Sehaxen, wobei dann das dem Auge B angehörige das allein geneigte ist. Lässt man die Augen allmählich aus der symmetrischen Stellung in die fragliche unsymmetrische übergehen, indem man fortwährend den seitwärts bewegten Punkt F fixirt und P in demselben Sinne bewegt, so bemerkt man, wie das dem Auge A angehörige Bild sich allmählich

---

* Anomalien der Stellung und Bewegung der Augen, Strabismus, konnte und wollte ich vorläufig überhaupt noch nicht in Betracht ziehen; ich brauche aber wohl kaum daran zu erinnern, dass es von Wichtigkeit und Interesse in vieler Beziehung sein wird, Versuche, wie die bisher beschriebenen und noch zu beschreibenden, von Schielenden anstellen zu lassen, was freilich bei der dazu erforderlichen Uebung keine leichte Aufgabe sein wird.

aufrichtet, der senkrechten Richtung nähert, während im Gegentheil das dem Auge B angehörige sich stärker neigt. Hieraus folgt nun sogleich, dass der Punkt, gegen welchen die Doppelbilder der in P stehenden Linie convergiren, der, wie früher, entweder sichtbar oder nur virtuell vorhanden ist, kein Punkt des Horopters ist, kein einfach gesehener Punkt des Objects, denn in dem Kreuzungspunkte decken sich zwei Punkte der Doppelbilder, die nicht ein und demselben Punkte des Objects entsprechen. Man mag die Linie neigen, wie man will, nie erscheinen Doppelbilder, von denen gleiche Punkte in gleicher Höhe liegen, nie giebt es einen Kreuzungspunkt, welcher den Werth eines Horopterpunktes hat.

Hieraus kann unmittelbar geschlossen werden, dass es bei der fraglichen Augenstellung keinen senkrechten Horopterdurchschnitt giebt.

Abgesehen aber hiervon, abgesehen von der stets vorhandenen Ungleichheit der Doppelbilder, um damit kurz das eben Erörterte zu bezeichnen, treten bei Neigungen der Linie die analogen Erscheinungen der früher beschriebenen ein. Neigt man die in P stehende Linie in der Richtung der verticalen Medianebene rückwärts, so nimmt die Convergenz der Doppelbilder allmählich ab, und bei einem bestimmten Winkel (ich habe hierüber keine Messungen angestellt) erscheinen die Doppelbilder parallel. Dies enthält keinesweges einen Widerspruch gegen den obigen Schluss, dass es keine verticale Horopterlinie giebt; denn der Parallelismus der Doppelbilder, welcher uns früher ein Beweis dafür war, dass das Object in jener Neigung der verticalen Horopterlinie parallel (mit der erörterten Modification) gerichtet war, bestand darin, dass gleiche Punkte der beiden Bilder in gleicher Höhe lagen und gleichweit von einander entfernt waren. Dies ist jetzt nicht der Fall; zwar sind die Bilder der Linie auch parallel, aber gegen einander verschoben; horizontal verlaufende Verbindungslinien zwischen ihnen verbinden nicht gleiche Punkte, sondern ungleiche, das Ende des einen Bildes ragt weiter vor, als das des anderen. Denkt man sich bei Näherrücken der Linie in dieser Neigung die Doppelbilder sich allmählich übereinanderschieben, so wird die Linie nie in einem Horopter zu liegen kommen, denn immer werden die gleichen Punkte der Doppelbilder gegen einander verschoben bleiben. Welches Doppelbild höher, welches tiefer liegt, wird sich aus dem im nächsten Paragraphen zu Erörternden ergeben.

Wiederholt man den so eben bei horizontaler Visirebene angestellten Versuch bei anderen Neigungen der Sehaxen, so wird man ebenfalls die analogen Erscheinungen der früher beobachteten wahr-

nehmen. Je höher hinauf die Sehaxen gerichtet sind, desto mehr nimmt bei übrigens gleichen Umständen die Convergenz der Doppelbilder zu, welche immer eine unsymmetrische bleibt. Nähert man sich der Neigung von + 45°, so nimmt die Convergenz ab; bei dieser Neigung selbst, erscheinen die Doppelbilder der senkrecht stehenden Linie parallel. Aber auch dieser Parallelismus bedeutet nicht unter allen Umständen, dass es hier einen senkrecht zur Visirebene stehenden verticalen Horopterdurchschnitt giebt. Bei nicht sehr grossen Entfernungen nämlich des fixirten Punktes von der Mitte der Grundlinie, ist der Unterschied der Entfernungen des seitlich, in *F* z. B. gelegenen Objects von den beiden Augen mehr oder weniger in Betracht kommend, so fern dadurch eine Verschiedenheit der Grösse der Netzhautbilder bedingt wird. Eine Linie, die in *F* steht, welche einfach gesehen werden könnte, wird, streng genommen, nicht einfach gesehen, wenn das dem Auge *A* angehörige Retinabild eine grössere Ausdehnung hat, als das dem entfernteren Auge *B* angehörige. Nehmen wir daher Rücksicht auf dieses Verhältniss, welches sich z. B. bei der Entfernung einiger Zolle von der Mitte der Grundlinie *C* schon geltend macht, so giebt es auch bei 45° abwärts gerichteten Sehaxen bei unsymmetrischer Augenstellung, genau genommen, keine verticale Horopterlinie. Abstrahiren wir von der ungleichen Grösse der Bilder, also bei Entfernungen, bei welchen die Differenz verschwindend klein ist, so ist bei der genannten Augenstellung die verticale Horopterlinie senkrecht zur Visirebene gerichtet, wie bei der entsprechenden symmetrischen Augenstellung. Bei den anderen Neigungen der Visirebene aber giebt es in der That keine verticale Horopterlinie, wenn die Stellung der Augen unsymmetrisch ist, denn dann influirt nicht allein die Verschiedenheit der Grösse der Retinabilder, von welchen wir absehen wollen, sondern noch ein anderes Moment, welches die erörterte Verschiedenheit der Neigung der Doppelbilder bedingt. Bevor ich hierauf eingehe, will ich nur daran erinnern, dass Versuche mit verkehrten Doppelbildern angestellt die entsprechenden und den früher beschriebenen Erscheinungen übrigens analogen Ergebnisse liefern.

37.

In Fig. 16. bedeuten *ab* und *αβ* die Retinabilder der hinter dem fixirten Punkte in Fig. 15. senkrecht stehenden Linie, während also die Sehaxen die dort gezeichnete Richtung haben. Der Punkt *a* (entsprechend dem Auge *B* in Fig. 15.) liegt dem Mittelpunkte näher, als der Punkt *α* (entsprechend dem Auge *A* in Fig. 15.). Diese beiden

Bilder erscheinen convergirend, aber nicht symmetrisch, das dem Auge *A* angehörige ist weniger geneigt, das dem Auge *B* angehörige stärker. Mit Rücksicht nun auf früher Erörtertes können wir aus jener Erscheinung sogleich schliessen, dass die beiden Augen in jener Stellung eine ungleiche Drehung um die optische Axe erfahren haben; die verticalen Trennungslinien *TM* und *LN* sind nicht symmetrisch gerichtet, sondern schliessen verschiedene Winkel mit den Meridianen ein, und zwar ist es das Auge, welches dem fixirten Punkte am Nächsten liegt, dessen Sehaxe also sich am Meisten der normalen Richtung grade aus nähert, dessen verticale Trennungslinie sich der senkrechten Richtung am Meisten nähert, denn das diesem Auge angehörige Bild zeigt die geringere Abweichung von der senkrechten Richtung. Ist z. B. die Richtung der Trennungslinien *TM* und *LN* die in Fig. 16. gezeichnete, so ist der Punkt *c* des einen Auges identisch mit dem Punkte γ des anderen, in dem beide auf homologen Quadranten in gleichem Verhältnisse zu den verticalen Trennungslinien stehen. Diese beiden Punkte der Bilder *ab* und $\alpha\beta$ decken sich also; sie sind aber, wie leicht ersichtlich, bei allen unsymmetrischen Lagen der Retinabilder, d. h. bei ungleicher Grösse von *aP* und αQ, zwei verschiedene Punkte des Objects. Dass bei unsymmetrischen Augenstellungen eine derartige Kreuzung der Doppelbilder, wirklich oder virtuell, stattfindet, lehrt der Versuch. Keine irgend wie gelegene Linie im Raume kann ihr Retinabild gleichzeitig auf die beiden unsymmetrisch gerichteten Trennungslinien *TM* und *LN* entwerfen, so dass die Linie einfach gesehen würde, die Retinabilder keines Punktes, ausgenommen den fixirten, können auf gleichwerthigen, d. h. identischen Punkten der Trennungslinien und somit auch nicht auf identischen Punkten überhaupt liegen; es giebt bei unsymmetrischen Richtungen der Trennungslinien gar keinen Horopter, nur der fixirte Punkt wird einfach gesehen. Dies ist der Fall bei allen unsymmetrischen Augenstellungen, ausgenommen diejenigen, bei denen die Sehaxen 45⁰ unter den Horizont geneigt, und diejenigen, bei denen die Sehaxen parallel gerichtet sind.

38.

Somit bedarf es einer Untersuchung des horizontalen Horopterdurchschnitts nur für die genannte Neigung, die normale Richtung der Sehaxen, worin also die unsymmetrischen Augenstellungen mit den symmetrischen übereinstimmen. Sehen wir auch hierbei von dem Unterschiede der Ausdehnung der Retinabilder, der sich bei geringen

Entfernungen geltend macht, ab, so ist das Ergebniss von Versuchen, die ähnlich den früher beschriebenen sind, dass die horizontale Horopterlinie auch für die unsymmetrischen Augenstellungen eine grade Linie ist, welche nun aber nicht parallel zur Grundlinie verläuft, sondern rechtwinklig zu der den fixirten Punkt mit der Mitte der Grundlinie verbindenden Linie, was also die allgemeinere Bestimmung der Richtung dieser Linie ist, da bei den symmetrischen Augenstellungen diese Bestimmung den Parallelismus zur Grundlinie involvirt. *DE* in Fig. 15. ist die Richtung der senkrecht zu der 45⁰ abwärts geneigten Visirebene stehenden Horopterebene. Vergleichen wir demnach die symmetrischen Augenstellungen mit den unsymmetrischen, so haben die ersteren unter allen Umständen für das deutliche Sehen in der hier in Betracht kommenden Rücksicht Vorzüge; denn in der Normalstellung (45⁰ abwärts geneigt) giebt es, streng genommen, bei den unsymmetrischen Richtungen der Sehaxen nur so weit eine Horopterebene, als keine wahrnehmbare Grössendifferenzen der Retinabilder aus der ungleichen Entfernung von beiden Augen erwachsen. Bei allen symmetrischen Stellungen, ausser der Neigung von 45⁰, giebt es eine verticale mittlere Horopterlinie, wie wir oben fanden; diese fehlt aber bei den unsymmetrischen, bei welchen nur der fixirte Punkt einfach gesehenwird. Nach diesen bei Anlegung eines genauen Massstabes stattfindenden Verhältnissen kann leicht das beurtheilt werden, was daraus für die Praxis resultiren wird. Bei nahezu parallel gerichteten Sehaxen verhalten sich alle Augenstellungen gleich.

39.

So wie die durch die Entwicklungsgeschichte angeregte Vermuthung, die Retina möchte etwas verschieden auf der äusseren und inneren Seite gekrümmt sein, die Veranlassung zu den ersten Versuchen Baum's gewesen ist, so erlauben nun die Ergebnisse dieser Versuche einen Rückschluss. Wenn es nicht die in dem bekannten Kreise gelegenen Punkte sind, deren Retinabilder in jedem Auge gleichweit von dem Mittelpunkte, dem Punkte des deutlichsten Sehens entfernt sind, sondern wenn es die in jener der Grundlinie parallelen (oder allgemeiner zur verticalen Medianebene rechtwinkligen) graden Linie gelegenen Punkte sind, welche einfach gesehen werden, so kann, wie sich leicht durch Construction findet, die Krümmung der Netzhaut Aussen und Innen vom Mittelpunkte nicht gleich sein, sondern der äussere Theil des Umfanges muss eine etwas weitere Krümmung, einen etwas grösseren Bogen beschreiben, als der innere Theil. An

etwaige Structurverschiedenheiten, der Art, dass ein auf der äusseren Hälfte entworfenes, factisch kleineres oder gleiches Bild grösser erscheine oder als ein grösseres wahrgenommen werde, als ein auf der inneren Hälfte entworfenes, kann, wie sich leicht bei Erwägung der Consequenzen herausstellt, nicht gedacht werden. Jene Verschiedenheit der Krümmung, etwa dadurch bedingt, wie schon bemerkt, dass die kleine Axe der Ellipse nicht genau mit der optischen Axe zusammenfällt, braucht nur eine sehr geringe zu sein, um der gestellten Anforderung Genüge zu leisten. Eine etwaige Berechnung in Bezug hierauf war zur Zeit nicht anzustellen; es würde dazu vielleicht zunächst der Berechnung für ein auf eine Kugel reducirtes Auge bedürfen. Eben bei dieser geringen Verschiedenheit der Krümmung, deren es nur bedarf, ist nun auch der Punkt von Wichtigkeit, dass dieselbe keinesweges stattzufinden braucht in dem Durchschnitte des Auges, welcher bei horizontaler Visirebene der horizontale ist; nur da können wir zunächst der durch die Gestalt des Horopters gestellten Anforderung genügt sehen wollen, wo es einen Horopter in der Visirebene giebt: die horizontale Trennungslinie identischer Netzhauthälften ist es zunächst nur, in welcher wir jene Verschiedenheit erwarten, und diese verläuft bei horizontaler Visirebene unter einem, wenn auch kleinen Winkel geneigt gegen den Meridian, von Aussen Unten nach Innen Oben.

Es vereinigt sich diese Anforderung mit dem, was Brücke * über die Gestalt des Auges sagt, indem nach seinen Messungen sich diese nur der Gestalt eines Ellipsoids anschliesst, und indem der grösste Durchmesser der Aequatorialebene des Auges in der Regel von der Nasenseite und von Oben nach der Schläfenseite und nach Unten geht.

Wenn nun diese Krümmungsverschiedenheit vorhanden ist, so wird sie nicht der in Frage stehenden Anforderung für alle in jeder Entfernung gedachte Horopteren genügen, sondern entweder, bei beträchtlicherer Verschiedenheit, vorzugsweise für nahe Horopter, oder, bei geringerer vorzugsweise für fernere. Bei überhaupt grossen Entfernungen sind die Unterschiede gleichgültig. Mit Rücksicht hierauf hat Baum auf ein interessantes Verhältniss hingewiesen: Das Kind, bei welchem die in der foetalen *Protuberantia scleroticalis* wahrscheinlich begründete Krümmungsverschiedenheit noch in höherem Masse vorhanden sein wird, ist, abgesehen vom Sehen in weite Fernen, hauptsächlich auf nahe Horopteren angewiesen; das Kind fixirt in

* Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels pag. 5.

grosser Nähe und beschäftigt seine Augen hauptsächlich mit den nächst liegenden Gegenständen; mit zunehmendem Alter wird sich jene Krümmungsverschiedenheit allmählich ausgleichen, ja zuletzt vielleicht völlig schwinden, und dem entsprechend entfernt sich der gewissermassen charakteristische, der mittlere Horopter (Mesoropter von JOH. MÜLLER) mit der fortschreitenden Entwicklung; der dioptrische Apparat der Augen bedingt in höherem Alter Weitsichtigkeit und damit ebenfalls einen entfernten Horopter.

40.

Bevor wir die beobachteten Drehungen des Auges um die optische Axe einer näheren Betrachtung unterwerfen, will ich noch einige Versuche angeben, die zwar, wie gesagt, sich nicht so leicht möchten zu Messungen verwenden lassen, wie die bisherigen, die aber doch ebenfalls handgreifliche Beweise für die Existenz jener Bewegungen zu liefern im Stande sind.

Punkte von bestimmter ausgezeichneter physiologischer Dignität, sogenannte identische Punkte, waren es, an denen in den bisherigen Versuchen die fraglichen Drehungen beobachtet wurden. Es giebt im Auge noch eine Stelle von ganz besonderer Eigenthümlichkeit, welche sie zu einem Versuche sehr geeignet macht. Ich meine den blinden, den MARIOTTE'schen Fleck.

Denken wir, das Auge habe eine solche Stellung, dass die Linie, welche den Punkt des deutlichsten Sehens (*P* in Fig. 12.) mit dem Mittelpunkte des MARIOTTE'schen Flecks, *O*, verbindet, der horizontale Meridian der Netzhaut ist. Wird bei dieser Augenstellung ein Punkt fixirt, so wird das Bild eines am passenden Orte in der Visirebene befindlichen Objects auf den Mittelpunkt der blinden Stelle fallen, weil alle Punkte der Visirebene ihre Bilder auf dem horizontalen Meridiane der Retina haben. Lassen wir nun aber die Neigung der Sehaxe zum Horizont eine andere werden, so wird, wenn gleichzeitig eine Drehung um die optische Axe stattfindet, in der neuen Stellung der horizontale Meridian nicht mehr den Mittelpunkt des MARIOTTE'schen Flecks treffen, und ein Punkt, welcher sich in derselben Stellung zum fixirten Punkte befindet, wie vorher (der fixirte Punkt muss natürlich auch in demselben Verhältnisse zum Auge bleiben), wird nun nicht mehr auf den Mittelpunkt des MARIOTTE'schen Flecks sein Bild entwerfen.

Ich habe den Versuch in folgender Weise ausgeführt.

Auf der Peripherie eines getheilten Kreisbogens wurden zwei

dunkle Kreise verzeichnet (Fig. 17. *A* und *B*), so dass die Mittelpunkte derselben um einen kleinen Winkel, von 11^0 bis 12^0 von einander entfernt lagen. Fixirt man nun bei 45^0 abwärts geneigter Sehaxe den Mittelpunkt des grossen Kreisbogens *C*, so kann man dem Radius *AC* eine solche Lage geben, dass bei übrigens passenden Umständen der Kreis *A* verschwindet und nur der Kreis *B* gesehen wird. In dieser Stellung wird der Kreisbogen an einem Stativ befestigt. Fixirt man nun bei horizontal und nach Innen gerichteter Sehaxe den Mittelpunkt *C*, so verschwindet nicht mehr der ganze Kreis *A*, sondern seine untere Hälfte und die obere des Kreises *B*. Neigt man die Sehaxe aufwärts, etwa 40^0, wobei sie ebenfalls nach Innen gerichtet sein muss, so verschwindet nun allein der Kreis *B*. Es ist am Besten, die Kreise *A* und *B* so gross zu machen, dass ihre Bilder den MARIOTTE'schen Fleck nahezu bedecken; beispielsweise muss bei 15 Cm. Entfernung des fixirten Punktes *C* von der Nasenwurzel der Radius *CA* des Kreisbogens 5 Cm. betragen und der Durchmesser der Kreise *A* und *B* muss, wenn ihre Bilder bei jenen Entfernungen den MARIOTTE'schen Fleck nahezu bedecken sollen, etwa 1,5 Cm. sein. Neigt man die Sehaxe weiter herab als 45^0, so verschwindet ebenfalls nicht mehr der ganze Kreis *A*, aber jetzt wird seine untere Hälfte allmählich sichtbar und man muss den grossen Kreisbogen etwas aufwärts drehen, wenn *A* wie bei 45^0 Neigung verschwinden soll.

Das Ergebniss ist übereinstimmend mit dem früher gefundenen. Der MARIOTTE'sche Fleck bewegt sich bei den mit Rotation um die optische Axe verbundenen Augenbewegungen aufwärts, wenn die Neigung der Sehaxen dabei oberhalb $+ 45^0$ liegt (Fig. 12), und es muss daher das Object, dessen Bild sich auf jenem entwerfen soll, um einen gleichen Winkel abwärts bewegt werden; es trat an die Stelle des Kreises *A* der Kreis *B* in Fig. 17. Bei Neigungen der Sehaxen unterhalb $+ 45^0$ findet, wie sich oben schon bei den Erscheinungen der Doppelbilder herausstellte, eine Drehung um die optische Axe im entgegengesetzten Sinne statt, der MARIOTTE'sche Fleck bewegt sich nach Unten und es muss daher der Kreis *A* mit einem höher liegenden vertauscht werden. Ich habe bei diesen Versuchen gefunden, dass, während die Sehaxe von 45^0 unter dem Horizonte bis etwa 40^0 oberhalb desselben bewegt wird, der MARIOTTE'sche Fleck eine Drehung um den Mittelpunkt der Netzhaut von etwa 11^0 erleidet, indem ich die Mittelpunkte der für die beiden genannten Gränzstellungen verschwindenden Kreise *A* und *B* um diesen Winkel von 11^0 von einander entfernen musste. Der fixirte Punkt befand sich dabei gleichweit von beiden Augen entfernt, es war also die Convergenz der Seh-

axe des gebrauchten Auges die, welche bei Fixation eines 15 Cm. von der Nasenwurzel, etwa 17 Cm. von der Mitte der Grundlinie entfernten Punktes stattfindet. Dies Drehungsmoment des Auges um die optische Axe ist etwas grösser, als das auf dem früheren Wege gefundene und es bestätigt dies die schon gemachte Bemerkung, dass die den früher gefundenen Zahlen anhaftenden Ungenauigkeiten wahrscheinlich durchweg etwas zu geringe Drehungsausschläge herausstellen.

Beiläufig fand ich bei den eben beschriebenen Versuchen, dass der Mittelpunkt des MARIOTTE'schen Flecks nahezu in der horizontalen Trennungslinie identischer Netzhauthälften liegt, indem nämlich der Radius CA bei 45^0 abwärts gerichteter Sehaxe horizontal, d. i. in der Visirebene liegt; bei dieser Augenstellung fällt die horizontale Trennungslinie mit dem horizontalen Meridiane zusammen. Dies würde also bei etwaigen Messungen zur Richtschnur dienen können, indem ein den Mittelpunkt des gelben Flecks und den Mittelpunkt des MARIOTTE'schen Flecks treffender Schnitt nahezu mit der horizontalen Trennungslinie der identischen Netzhauthälften zusammen fällt. Unten werde ich noch einen Versuch angeben, welcher dieses bestätigt.

41.

Ein anderer Versuch besteht in Folgendem. Ich suchte mir bei abwärts gerichteten Sehaxen durch Drücken der beiden Augen mittelst nicht zu grober Spitzen, z. B. mittelst zweier Stecknadelköpfe, zwei identische Stellen auf, so dass also nur e i n e Druckfigur erschien. War dies geschehen, so wandte ich die nach Innen gerichteten Sehaxen rasch nach Oben, während die beiden Nadelköpfe unverändert auf den Augen stehen blieben und dieselben Stellen der Augenlieder drückten, wie vorher. Die einfache Druckfigur theilte sich bei dieser Bewegung in zwei immer weiter von einander weichende feurige Kreise, welche, wenn die drückenden Körper fein genug gewählt sind, zuletzt bei stark aufwärts gerichteten Sehaxen ganz getrennt neben einander stehen. Während der Bewegung der Augen war, vermöge der dabei stattfindenden Drehung um die optische Axe, in jedem Auge eine andere Stelle der Retina unter die gedrückten Stellen der Augenlieder gerückt, und zwar Stellen von nicht homologen, nicht identischen Quadranten. Der Versuch ist nicht so leicht auszuführen und anstrengend. Er gelingt mir am Besten, wenn ich zwei Stellen des oberen Umfanges der Augen wähle. Beim Drücken mit grösseren

Flächen wird der Versuch zu ungenau und roh, als dass man die Erscheinung deutlich wahrnehmen könnte.

42.

Man kann ferner die Nachbilder benutzen, um die fraglichen Drehungen der Retina wahrzunehmen, in folgender Weise. Hat man z. B. bei abwärts gerichteter Sehaxe, während das eine Auge geschlossen ist, ein am Besten stabförmiges Object (ich benutzte gewöhnlich die langgestreckte Flamme einer Lampe) so lange fixirt, bis man ein möglichst lange andauerndes Nachbild erhält, so kann man nun bei den Bewegungen der Augen aller Art die Drehungen um die optische Axe in den Richtungsänderungen des Nachbildes verfolgen. Verlief z. B. das bei etwa 45⁰ abwärts geneigtem Auge fixirte Object vertical, so hat das Nachbild bei dieser Neigung und bei allen Stellungen mit parallel grade aus gerichteten Sehaxen dieselbe Richtung, es erscheint senkrecht, und zwar nicht nur in Beziehung auf die Dimensionen des Gesichtsfeldes des einen Auges, sondern auch in Beziehung auf die des gemeinschaftlichen Sehfeldes beider Augen. Neigt man aber die Sehaxen nach Oben, während sie zugleich convergiren, so erscheint das Nachbild geneigt in dem gemeinschaftlichen Sehfelde, geneigt in Beziehung auf die ursprüngliche Richtung; aber dabei ist ein Umstand von Wichtigkeit hervorzuheben, auf welchen ich Unten bei Erörterung der Augenbewegungen zurückkommen werde: das Nachbild erscheint bei ausschliesslicher Berücksichtigung der Dimensionen des jeweiligen Gesichtsfeldes des einen Auges, in welchem dasselbe vorhanden ist, n i c h t geneigt, sondern behauptet in diesem bei allen Stellungen des Auges die verticale Richtung, was eben nur dann möglich ist, wenn es in Bezug auf die Dimensionen des ursprünglichen Gesichtsfeldes bei abwärts geneigtem Auge, und in Bezug auf die Dimensionen des gemeinsamen Sehfeldes beider Augen in jener zweiten Stellung geneigt erscheint. Diese Neigungen, welche das Nachbild erleidet, die immer nur gering sind, höchstens 10—12⁰ betragen können, zeigen unmittelbar, ohne Umkehrung, die Richtung der Trennungslinien identischer Netzhauthälften, die Richtung, in welcher die Drehung stattgefunden hat, so wie es erwartet werden musste. Denn wenn z. B. *TM* in Fig. 12. das Nachbild ist, welches die Drehung erlitten hat, so erscheint sein unterer Theil, *M*, Oben und Aussen, sein oberer Theil, *T*, Unten und Innen.

Ein ursprünglich verticales Nachbild, unter den genannten Umständen erhalten, erscheint daher bei aufwärts und nach Innen gerichteten Sehaxen schräg von Oben und Aussen nach Unten und Innen (nasenwärts) gerichtet. Wendet man dagegen das Auge stark nach Aussen, so erhält das Nachbild die entgegengesetzte Richtung, immer aber, wie ich nochmals hervorheben muss, nur in Beziehung auf die Dimensionen des gemeinsamen Sehfeldes beider Augen und auf die des ursprünglichen Sehfeldes, in welchem das Nachbild gewonnen wurde. — Das Angegebene gilt speciell natürlich nur für den beispielsweise angenommenen Fall, und die Erscheinungen erleiden die leicht abzuleitenden Modificationen je nach der Stellung des Auges, bei welcher das Nachbild gewonnen wurde.

Bei dem Nachbilde eines Objects in beiden Augen tritt keine Lagenveränderung des einfach erscheinenden Bildes bei Drehungen um die optische Axe ein. Die Identität der entsprechenden Punkte der beiden Bilder fesselt dieselben gleichsam an einander und damit auch an denselben Ort im gemeinsamen Sehfelde, so viel auch die Oerter der Retinabilder durch Drehungen des Auges in entgegengesetzter Richtung bewegt werden. Umgekehrt aber und in vollkommen entsprechender Weise kann ein Bild senkrecht erscheinen, so lange die Vorstellung durch die Erregung nur eines Auges bedingt und geleitet ist; sobald aber die zwingenden Verhältnisse der sogenannten Identität bestimmter Punkte beider Netzhäute ihren Einfluss geltend machen, kann jene Vorstellung der senkrechten Richtung plötzlich in die einer geneigten verwandelt werden, indem dann die durch ein Auge allein vermittelte Wahrnehmung nicht mehr für sich, isolirt dasteht, sondern die Eindrücke beider peripherischen Theile des einigen Sehorgans sogleich und unabweisbar in gegenseitiger Beziehung wahrgenommen werden, welche alle übrigen, gleichsam äusseren, jedem einzelnen Eindrucke allein angehörigen Beziehungen ganz in den Hintergrund drängt. Die oben besprochnen Erscheinungen, welche die Doppelbilder darbieten, sind nicht die einzigen, welche diesen Zwang, den das örtliche Verhältniss der Retinabilder zu identischen Stellen auf die Vorstellung ausübt, darthun; es gehören hieher auch die Erscheinungen bei einem Versuche, welcher von Ruete schon vor längerer Zeit angegeben ist. *

* Ueber das Schielen und seine Heilung pag. 20.

43.

Sieht man zwei verticale parallele Linien an, während sich eine Scheidewand zwischen den Gesichtsfeldern beider Augen befindet, so dass jede Linie nur von einem Auge gesehen wird, so erscheinen die Linien nicht unter allen Umständen parallel, sondern sie convergiren nach Oben bei horizontal oder aufwärts gerichteten Sehaxen; parallel erschienen sie bei 45° abwärts geneigten, und bei hierüber hinaus abwärts geneigten Sehaxen convergiren die Linien nach Unten.

Die Erscheinung ist vollkommen übereinstimmend mit allem bisher Beobachteten: jedes Auge allein sieht in allen Stellungen die Linie senkrecht herablaufen, aber die Bilder beider Augen in ihrem Verhältnisse zu einander hängen in Bezug auf ihre räumlichen Verhältnisse von der gegenseitigen Richtung der Trennungslinien ab, von dem örtlichen Verhältnisse der Punkte der beiden Retinabilder zu der relativen Lage der identischen Stellen. Die Bilder der beiden Linien, von denen jede nur mit einem Auge gesehen wird, sind völlig dasselbe, was die Doppelbilder einer Linie sind. Giebt man dem Papier, auf welchem die beiden Linien verzeichnet sind, die den einzelnen Augenstellungen angemessenen Neigungen zur Visirebene, wie früher der doppelt gesehenen Linie, so erscheinen die Linien parallel, wie sie bei 45° abwärts geneigter Visirebene bei senkrechter Richtung des Papiers zur Visirebene erscheinen.

Ruete leitete die Erscheinung von anormalem Uebergewicht der *Obliqui* über die *Recti* bei verhinderter Convergenz der Sehaxen ab. Solche Anomalien finden nicht statt und es werden sich alle Erscheinungen, die völlig normal sind, auf ein sehr einfaches Princip zurückführen lassen. Der unter den bekannten Umständen bei dem Versuche stattfindende Parallelismus der beiden Linien war übrigens Ruete entgangen. Bei einer passenden Einrichtung der Scheidewand, welche den Neigungen des die beiden Linien tragenden Papiers folgen müsste, würde sich dieser Versuch in derselben Weise, wie oben die Versuche mit Doppelbildern, zu einer Reihe von Messungen eignen, die wohl auch auf diese Weise leichter und bequemer auszuführen sein möchten, wenn sich dabei die Grösse des Convergenzwinkels der Sehaxen wird genau bestimmen lassen.

Ganz dieselben Umstände, unter welchen sich bei diesem Versuche die beiden Augen befinden, sind vorhanden, wenn das eine Auge in ein Fernrohr blickt, das andere gleichzeitig z. B. einen Mass-

stab ansieht; und es müssen dabei ganz analoge Täuschungen entstehen, wie bei dem erörterten Versuche. Vergl. das am Schlusse des §. 35. Bemerkte.

Auch in der Weise ist dieser Versuch zum Theil bekannt, dass nicht die Richtung der verticalen Trennungslinien, sondern die der horizontalen und der Einfluss derselben auf die Richtung der Bilder benutzt wird. Betrachtet man unter Anwendung jener Scheidewand zwischen beiden Augen die Zeilen eines Buches, auf dessen Mitte z. B. die Scheidewand aufsteht, so scheinen die Zeilen nicht grade zu verlaufen, sondern sie sind gebrochen. Bei aufwärts geneigten Sehaxen convergiren die beiden durch die Scheidewand gebildeten Hälften der Zeilen nach Unten, bei 45° abwärts geneigten Sehaxen findet keine Richtungsverschiedenheit statt, und bei darüber hinab geneigter Visirebene convergiren die Zeilen beider Seiten nach Oben. (Vergl. die in §. 27. beschriebenen Versuche.)

44.

Endlich will ich noch einen Versuch angeben, bei welchem man am Unmittelbarsten, ganz direct die in Frage stehenden Drehungen ebenfalls wieder der eignen Retina sehen kann. Der Versuch wird mit Hülfe des PURKINJE'schen Versuchs gemacht.

Es ist bekannt*, dass wenn man das Auge auf eine helle Fläche, z. B. auf den hellen Himmel richtet und eine feine, etwa ½—1 Mm. im Durchmesser habende Oeffnung nahe vor der Pupille etwas hin und her oder im Kreise bewegt, eine überaus schöne Figur von verzweigten Gefässen erscheint, die Gefässe des mittleren Theiles der Netzhaut, welche von allen Seiten auf die durchaus gefässlose runde Stelle in der Mitte, den Punkt des deutlichsten Sehens, zulaufen, und an welchen man mit der grössten Schärfe und Deutlichkeit die Verästelung bis in die feinsten Capillaren verfolgen kann. Diese Erscheinung verschaffte ich mir, indem ich auf die Glocke einer Lampe von Oben herab sah und setzte den Versuch so lange fort, bis ich ziemlich genau in der Figur orientirt war und einige der grösseren auf den Mittelpunkt zulaufenden Gefässe in Bezug auf Lage und Richtung kannte Wiederholte ich nun denselben Versuch bei horizontal oder aufwärts und dabei nach Innen gerichteter Sehaxe, so konnte ich aufs Deutlichste die Drehung, welche alle Gefässe erlitten

* PURKINJE, Neue Beiträge zur Kenntniss des Sehens etc. pap. 117.

hatten, wahrnehmen. Ein Gefäss, welches auf der rechten Retina in grader Richtung vom Eintritte des Sehnerven auf den gelben Fleck zu verläuft und bei abwärts gerichteter Sehaxe horizontal erscheint, verläuft bei aufwärts gerichteter Sehaxe schräg von Unten und Aussen nach Oben und Innen (nasenwärts) auf den gelben Fleck zu. Die Richtung der Drehung ist übeinstimmend mit der in allen früheren Versuchen gefundenen. Leichter aber noch, als an der Richtung der Gefässe kann man die Drehungen an der Eintrittsstelle des Sehnerven beobachten.

Von dem mancherlei Wunderbaren und Räthselhaften, was diese Modification des Purkinje'schen Versuchs darbietet, ist eine der merkwürdigsten Erscheinungen die, dass man die Eintrittsstelle des Sehnerven als scharf umschriebenen schwarzen Fleck sieht: Die blinde Stelle wird schwarz empfunden! Richtet man bei dem Versuche die Sehaxe weit nach Innen, so erscheint am äusseren Rande des durch den Rand der feinen Oeffnung begränzten Gesichtsfeldes ein länglich runder dunkler Fleck (welcher bei mir nur in dem einen Auge von einem hellen Saume umgeben ist), dessen grösster Durchmesser von Oben nach Unten verläuft. An seinem oberen und unteren Rande sieht man die dicken Stämme der Retinagefässe ein- und austreten, welche sich dann bogenförmig unter Verästelung hauptsächlich nach der äusseren Seite der Netzhaut wenden (in der Erscheinung nach Innen, nasenwärts). Diesen dunkeln Fleck nun wird man bei verschiedenen Augenstellungen an verschiedenen Punkten des Umfanges des Gesichtsfeldes auftauchen sehen, und zwar erscheint er mir bei ungefähr 45° abwärts geneigter Sehaxe an dem Punkte, welchen eine horizontale Linie mit dem gelben Flecke verbinden würde, d. h. also es liegt der Mittelpunkt des blinden Flecks in der horizontalen Trennungslinie, welche bei der genannten Augenstellung mit dem horizontalen Meridiane zusammenfällt. Dies stimmt mit dem Ergebnisse des oben beschriebenen objectiven Versuchs mit dem Mariotte'schen Flecke überein (Vergleiche §. 40.). Bei aufwärts geneigter Sehaxe erscheint jener dunkle Fleck mehr am unteren äusseren Rande des Gesichtsfeldes und es sind die hierauf bezüglichen Verschiedenheiten sehr leicht zu bemerken. Entsprechend seiner Erscheinung Unten hat sich der blinde Fleck selbst während der genannten Bewegung der Sehaxe nach Oben bewegt.

45.

Bei häufiger Wiederholung nicht nur des genannten, sondern auch der übrigen Purkinje'schen Versuche *, um damit die verschiedenen Umstände zusammenzufassen, unter welchen die Gefässfigur der Netzhaut wahrgenommen wird, bin ich auf einige Verhältnisse aufmerksam geworden, die ich, obwohl sie gar nicht weiter in Zusammenhang mit dem Bisherigen stehen, in der Kürze zu erörtern nicht unterlassen kann.

Es ist bekannt, dass, wenn man mit einer Kerzenflamme vor dem Auge, welches am Besten auf eine dunkle Fläche hinstarret, hin und her fährt, auf braun-rothem Grunde eine dunkle Gefässfigur erscheint, deren Ursprung man bis zu der der Eintrittsstelle des Sehnerven entsprechenden Stelle verfolgen kann. Diese Erscheinung ist in mehren Punkten verschieden von derjenigen, welche man bei dem im letzten Paragraphen besprochenen Versuche erhält, obgleich das beiden zum Grunde liegende Object dasselbe ist. Als Erklärung für die Erscheinung bei der vor der Pupille bewegten Flamme nimmt man an, dass bei gleichmässiger Erleuchtung des ganzen Inneren des Auges die auf der Oberfläche der Retina sich verbreitenden Gefässe einen Schatten auf weiter hinten gelegene erregbare Theile derselben werfen, und dass die Retina sich selbst in ihren durch die Beleuchtung erregten Partien empfindet, während die durch die Gefässe beschatteten Theile nicht empfunden, negativ also durch die Begränzung der beleuchteten empfundenen Partien wahrgenommen werden **. Sehen wir, ob sich bei näherer Betrachtung die Erscheinungen mit einer solchen Erklärung vereinigen lassen.

Schon Purkinje bemerkte, dass die Gefässfigur sich bewegt bei den Bewegungen des Lichtes; sie bewegt sich, auch wenn man während des Versuches einen Punkt fixirt, so dass der Verdacht, man möchte unwillkührlich dem Lichte folgen oder etwa ausweichen, beseitigt ist. Dass sich die Figur bewegt, würde sich mit jener Erklärung recht wohl vertragen, denn bei den Bewegungen der Lichtquelle müssen sich die Schatten bewegen. Es fragt sich aber, ganz abgesehen von der Winkelgrösse der Bewegung, die mit der Dicke der Netzhaut in Uebereinstimmung sein müsste, wie sich die Erscheinung bewegt,

* Purkinje, Beiträge zur Kenntniss des Sehens. I. 89. II. 117.

** Joh. Müller, Handbuch der Physiologie. II. pag. 350.

und wie sie sich bewegen müsste, wenn sie die unmittelbare Wahrnehmung beschatteter Theile der Netzhaut wäre.

Wenn ich die Kerzenflamme im Kreise vor dem Auge bewege, so beschreibt die Gefässfigur ebenfalls Kreise, und zwar in demselben Sinne, in welchem die Flamme bewegt wird, aber die Figur ist immer um 180⁰ voraus; bin ich mit der Flamme nach Oben gekommen, so ist die ganze Figur Unten, sie ist Oben, wenn die Flamme Unten ist; ebenso umgekehrt Rechts und Links.

Wenn nun in Fig. 18. die Flamme in A ist und wenn B ein Körper auf der Vorderfläche der Netzhaut ist, von welchem vorausgesetzt wird, dass er einen Schatten etwa auf die hintere Fläche der Netzhaut wirft, so liegt dieser Schatten in C, Unten also im Verhältniss zu einem Schatten C', welchen derselbe Körper wirft, wenn sich die Lichtquelle in A' befindet. Würden nun diese beiden Schatten vermöge ihres Auffallens auf erregbare Theile der Netzhaut negativ wahrgenommen, so müsste uns der Schatten C Oben erscheinen, der Schatten C' dagegen Unten, d. h. die Gefässfigur müsste uns Oben erscheinen, wenn die Lichtquelle selbst sich Oben befindet, Unten, wenn die Lichtquelle Unten ist. Es findet grade das Gegentheil statt, wir sehen die Gefässfigur sich so bewegen, wie sich die vorausgesetzten Schatten wirklich bewegen, während wir nach obiger Erklärung sie in der der wirklichen entgegengesetzten Bewegung wahrnehmen müssten, wie das Anatomische der Gefässfigur selbst uns umgekehrt erscheint. Obgleich noch andere sogleich zu erwähnende Umstände vorhanden sind, welche jener Erklärung gleichfalls widersprechen, so scheint doch aus dem Erörterten schon hervorzugehen, dass entweder die Lichtquelle, welche jene Schatten auf die erregbaren Partien der Retina wirft (wenn es wirklich Schatten sind, die wir wahrnehmen), nicht die vor dem Auge bewegte Flamme ist, sondern dass diese vielleicht erst irgend wo im Auge selbst eine Lichtquelle schafft, deren Beleuchtung der Retina dann durch die Gefässe unterbrochen würde, eine Lichtquelle, welche selbst in entgegengesetzte Bewegung versetzt werden müsste durch die Bewegungen der äusseren Kerzenflamme, die jene innere Lichtquelle erzeugt: oder dass die Annahme der unmittelbaren Wahrnehmung beschatteter Netzhautpartien überhaupt nicht richtig ist als Erklärung für die Erscheinung der Gefässfigur.

Nicht nur die Gefässe der Netzhaut sind es, die man bei dem in Rede stehenden Versuche wahrnimmt, sondern in der Mitte der ganzen Figur, auf die von allen Seiten die Aeste der Gefässe zulaufen, ohne über sie hinauszugehen, gewahrt man eine ganz scharf umschriebene,

bei mir in jedem Auge kreisrunde, Stelle, wie eine Scheibe. Diese entspricht ihrer Lage nach ohne Zweifel dem Mittelpunkte der Netzhaut, dem gelben Flecke oder einem mittleren Theile desselben *.

Was aber vermittelt die Wahrnehmung dieses gefässlosen Theiles der Retina? Die Scheibe ist ihrem grössten Theile nach heller, als der umgebende Theil der Retina, sie zeichnet sich durch einen eigenthümlichen matten, etwa grünlichen Glanz aus und ist, wie gesagt, scharf umschrieben. Ein Theil ihres Randes ist dunkel und dieser etwa halbmondförmige dunkle Theil geht nach der Mitte zu allmählich heller werdend in den glänzenden Theil der Scheibe über. Dies ist in der That ein Schatten, welcher sich bei der Bewegung der Kerzenflamme bewegt. Es wird als die nächstliegende Erklärung erscheinen, die Erscheinung von einer etwa uhrglasförmigen Vertiefung des Mittelpunktes der Netzhaut abzuleiten, deren Rand einen Theil derselben beschattet hält vor dem seitlich ins Auge einfallenden Lichte. Der kleine halbmondförmige Schatten läuft am Rande der Scheibe herum, wenn man die Kerze in Kreisen vor dem Auge bewegt, und zwar befindet er sich immer an der Seite, wo sich die Flamme selbst befindet; ist diese Oben, so ist auch der Schatten am oberen Rande der Scheibe. Wenn nun der Rand einer Vertiefung der Netzhaut einen Schatten in diese wirft, so liegt dieser Schatten z. B. am oberen Umfange der Vertiefung, wenn sich die Lichtquelle selbst Oben befindet; dieser obere Umfang des gelben Flecks erscheint uns aber als der untere Umfang, wie uns die ganze Retina umgekehrt erscheint; rührte also in der genannten Weise jene Erscheinung von einem Schatten in Bezug auf die vor dem Auge bewegte Flamme her, so müsste uns jener dunkle Saum der Scheibe immer an der der Flamme entgegengesetzten Seite erscheinen. Auch hier also vermissen wir die Umkehrung in der Erscheinung, welche stattfinden müsste, wenn obige Erklärung richtig wäre. Da der wirkliche untere Umfang der vorausgesetzten Vertiefung uns als oberer beschattet erscheint, wenn die äussere Lichtquelle sich oben befindet, so bleibt, wenn übrigens die Art der Erklärung beibehalten werden soll, und wenn man nicht statt der Vertiefung einen Hügel annehmen will, für welchen die Anatomie noch weniger, als für jene, spricht, auch hier kaum etwas Anderes übrig, als nach einer durch jene äussere Lichtquelle, die Flamme, gesetzten inneren Licht-

---

* Diese Beobachtung ist keinesweges neu, wie BUROW meint (MÜLLER's Archiv 1854. pag. 166); schon PURKINJE beschrieb dieselbe und bildete sie ab (a. a. O. Fig. 23. 24.). Vergl. auch RUETE, Lehrbuch der Ophthalmologie. 1. Aufl. pag. 140.

quelle im Auge zu suchen, die eine der der Flamme entgegengesetzte Bewegung haben müsste, wenn von ihr jene Schattenerscheinung abgeleitet werden sollte. *

Aber damit wäre auch noch nicht viel gewonnen; denn wenn auch die Entstehung der Erscheinung des beschatteten, dunkeln Theiles, der mittleren Scheibe erklärt wäre, so bleibt doch noch die Frage, wie der helle Theil dieser Scheibe zur Wahrnehmung kommt. Man könnte erwidern, dass dieser Theil der Netzhaut, als intensiver beleuchtet und intensiverer Empfindung fähig, sich selbst lebhafter empfände, als sich die übrigen beleuchteten Theile empfinden. Es bleibt aber noch ein räthselhafter Umstand übrig. Nicht nur die Gefässfigur bewegt sich in Kreisen bei kreisförmigen Bewegungen des Lichtes, sondern auch die mittlere Scheibe selbst, diese dem Mittelpunkte der Netzhaut entsprechende Stelle bewegt sich in Kreisen, während die Sehaxe fest während des Versuchs auf einen Punkt gerichtet bleibt. Für diese Erscheinung vermögen die angedeuteten Erklärungsversuche keine Rechenschaft zu geben; empfindet der Mittelpunkt der Retina sich selbst in seinem Beleuchtetsein, so muss diese Wahrnehmung, diese Gesichtserscheinung fest an ein und demselben Orte bleiben, wenn der Mittelpunkt, die Sehaxe fest auf einen Punkt gerichtet ist, so viel sich dabei die Lichtquelle auch bewegt; und hier liegt die Vermuthung nicht fern, ob nicht vielleicht in einem Reflexions-Phänomen das Wesen der ganzen Erscheinung der Gefässfigur, die unter den hier vorliegenden Umständen entsteht, zu suchen sei, so dass also die Gefässe und der gelbe Fleck nicht unmittelbar empfunden, wie bei den anderen Erklärungsversuchen, sondern mittelbar angeschauet würden; doch sprechen schon gegen die Möglichkeit dieser Annahme wiederum andere Thatsachen.

---

* Während des Druckes dieser Blätter wurde das Heft von MÜLLER's Archiv ausgegeben, in welchem der auf der vorhergehenden Seite citirte Aufsatz von BUROW enthalten ist (Der gelbe Fleck im eignen Auge sichtbar). BUROW hat ebenfalls die Bewegung des halbmondförmigen Schattens auf der dem gelben Flecke entsprechenden Stelle wahrgenommen, und er folgert daraus unter Beibehaltung der gebräuchlichen Erklärungsweise, dass diese Stelle kegelförmig in den Glaskörper vorspringe, was eine Bestätigung früherer Untersuchungen von ihm sei. Ich brauche kaum darauf aufmerksam zu machen, dass, wenn hiermit die Schattenerscheinung am gelben Flecke auch erklärt wäre, die übrigen Schwierigkeiten bei der Erklärung des Versuches nicht nur nicht beseitigt, sondern noch vermehrt sein würden, weil ein Theil einer complexen, aber gewiss einheitlichen Erscheinung durch Etwas erklärt würde, dem der andere Theil widerspricht.

Die Eintrittsstelle des Sehnerven erscheint mir bei diesem Versuche mit der Kerzenflamme nicht schwarz, sondern ich sehe dieselbe immer nur durch einen hellen gelb-röthlichen Glanz in der Nähe des Ursprungs der grossen Gefässstämme angedeutet, der nur einem kleinen Theile des MARIOTTE'schen Flecks entspricht. Dieser Glanz bewegt sich ebenfalls bei den Bewegungen des Lichtes und zwar entsprechend den Bewegungen jenes vorher besprochenen Schattens, also gleichfalls ohne Umkehrung. Denkt man, um diesen Glanz zu erklären, daran, dass etwa das seitlich einfallende Licht den gegenüberliegenden Theil des *Colliculus nervi optici* intensiver beleuchtet, als den übrigen Theil der Netzhaut, so entsteht die Frage, welcher überhaupt durch Licht erregbare Theil der Netzhaut durch diese intensivere Beleuchtung eines Theiles der Eintrittsstelle des Sehnerven in eine entsprechend stärkere Erregung versetzt wird.

Bemerkenswerth ist noch folgende Erscheinung: wenn man das Licht unregelmässiger, plötzlicher vor der Pupille bewegt, so nimmt man ganz deutlich wahr, wie die Gefässfigur ruckweise gleichsam Verzerrungen hie und da erleidet, die in den äussersten Partien am stärksten sind; es ändern sich plötzlich die relativen Lagen und Entfernungen der Gefässe, indem sie bald wie gedehnt, bald näher aneinandergerückt erscheinen, etwa so, als wenn über ein Spiegelbild im Wasser Wellen fortlaufen.

Wenn ich mittelst einer Linse von einem seitlich stehenden Lichte sehr intensives Licht am Rande der Pupille ins Auge fallen lasse, so erscheint die Gefässfigur ganz intensiv hellglänzend auf dunkelem Grunde. Fällt das Licht nur durch die Sclerotica ein, so erscheint, wie bekannt, dieselbe dunkele Gefässfigur auf hellerem Grunde, wie bei dem vorhin besprochenen Versuche; die helle Scheibe in der Mitte ist dann auch, wenn auch nicht so deutlich, sichtbar, und der halbmondförmige Schatten erscheint auf der Seite, von welcher das Licht einfällt, ohne die bei obiger Erklärungsweise nothwendige Umkehrung.

46.

Von den eben besprochenen Erscheinungen der Gefässfigur ist diejenige, welche, während das Auge auf eine helle Fäche sieht, beim Hin- und Herbewegen einer feinen Oeffnung vor der Pupille entsteht, wesentlich verschieden, so dass mit grosser Wahrscheinlichkeit vermuthet werden kann, dass verschiedene Momente in den beiderlei Versuchen die Netzhautgefässe sichtbar machen.

Schon Ruete * hat sich durch Vergleichungen überzeugt, dass die Gefässe, welche man bei dem Versuche mit der feinen Oeffnung sieht, nur ein kleiner mittlerer Theil der vorher besprochenen Gefässfigur sind; es sind nur die feinen Aeste, welche in nächster Nähe von allen Seiten auf jene glänzende Scheibe zulaufen, die bei diesem Versuche das kleine Gesichtsfeld mit ihren feinsten Verzweigungen ausfüllen. Von den Capillaren, welche bei diesem Versuche mit grosser Deutlichkeit und Schärfe wahrgenommen werden (nicht in jedem Auge gleich gut), ist in den Versuchen mit der Kerzenflamme Nichts zu sehen. Die ganze Figur erscheint hell auf hellem, fein granulirtem Grunde, und die Gefässe sind wie mit den feinsten Contouren gezeichnet, an einer Seite von einem lichten Saume begränzt. In der Mitte erscheint ein von allen Gefässen, auch den feinsten, völlig freier Fleck, der Mittelpunkt des gelben Flecks. Diese Stelle ist es, welche mir, wie auch Anderen, beim Beginn des Versuches immer zuerst auftaucht; sie erscheint mir heller als die übrige Netzhaut, abgesehen von der Gefässlosigkeit, aber nicht in der Weise glänzend und scharf umschrieben, wie die mittlere Scheibe in den früheren Versuchen. Bei Bewegungen der feinen Oeffnung zeigt sich keine Spur von Schatten am Rande dieser Stelle, aber in der Mitte oder etwas excentrisch gewahrt man, wie Ruete bemerkt hat, eine ganz kleine helle, an der einen Seite von einem schmalen dunkeln Saume umgebene Stelle, die sich wie ein kleines Knöpfchen ausnimmt. Ruete hat dies als das Bild der Linse gedeutet, worin ich ihm aber nicht beistimmen möchte.

Auch bei diesem Versuche bewegt sich die Gefässfigur mit den Bewegungen der feinen Oeffnung, aber nicht wie bei obigem Versuche, sondern so, dass die Figur nach derselben Seite weicht, wohin man die Oeffnung, welche hier die Lichtquelle ist, bewegt. Ausserdem ist ein wichtiger Unterschied der, dass es hier nur die Gefässe sind, welche sich bewegen, nicht aber zugleich der gefässlose Mittelpunkt: richtet man die Sehaxe während des Versuches fest auf einen Punkt, so bleibt der wahrgenommene Mittelpunkt der Netzhaut auch während der Bewegungen der Gefässe an derselben Stelle.

Dass die Gefässe bei diesem Versuche stärker vergrössert erscheinen, als bei den früher erörterten, ist vielleicht nur eine Täuschung, die durch die Wahrnehmung des feinen Details und durch die Begränzung des Gesichtsfeldes bedingt sein könnte, doch wäre bei Verschiedenheit des Wesens beiderlei Erscheinungen eine wirkliche Grössenverschiedenheit keinesweges unmöglich. Auffallend aber ist

* Lehrbuch der Ophthalmologie 1. Aufl. pag. 141.

anderseits der Umstand, dass die helle mittlere Scheibe in den früheren Versuchen grösser zu sein scheint, als die mittlere gefässlose Stelle in diesem Versuche, die beide für ein und dasselbe angesprochen werden; eine Vergleichung der Durchmesser beider Theile mit dem Zwischenraume zwischen bestimmten benachbarten Gefässen scheint mir in der That einen etwas grösseren Durchmesser für jene Scheibe herauszustellen.

Dass bei dem Versuche mit der feinen Oeffnung die Eintrittsstelle des Sehnerven schwarz erscheint mitten in der übrigens ganz hellen Retina, habe ich schon hervorgehoben, und dies ist gewiss eins der bemerkenswerthesten Facta dabei. Nach Allem, was sich über die Natur des sogenannten blinden Fleckes aus allen objectiven Gesichtserscheinungen ergiebt, muss es unbegreiflich erscheinen, wie bei diesem Versuche diese Stelle als Schwarz empfunden wird, was doch immer die Fähigkeit, durch Licht erregt zu werden, zu sehen, voraussetzt; und wiederum, wenn diese Fähigkeit an jener Stelle auch nur in geringem Masse vorhanden wäre, warum wird dann nicht auch diese Stelle, wie die übrige Netzhaut, licht empfunden?

47.

Das Räthselhafte und Unerklärliche, welches die besprochenen Erscheinungen enthalten, wird nun noch erhöhet, wenn man bedenkt, dass es noch eine dritte Art giebt, in welcher uns die Gefässe der Retina sichtbar werden können, die wiederum völlig verschieden ist von jenen. Ich meine die von STEINBUCH * zuerst und später von PURKINJE** gesehene Bewegung der Blutkörperchen in den Gefässen der Netzhaut. Ich habe diese Erscheinung gleichfalls einige Male gesehen und fand das, was jene Beobachter darüber mitgetheilt haben, vollkommen bestätigt. Leider kann ich die wesentlichen Umstände, durch welche die Erscheinung veranlasst wurde, nicht angeben. Ich hatte mancherlei Versuche zur Hervorbringung subjectiver Gesichtserscheinungen längere Zeit hindurch fortgesetzt, und als ich noch fortfuhr, durch eine feine Oeffnung auf die helle Glocke einer Lampe hinzustarren, während ich für sehr grosse Nähe accommodirte, verdunkelte sich plötzlich das Gesichtsfeld und es traten in grosser Zahl dicht aber anfangs getrennt neben einander stehende lichte Flecken von unregelmässiger

* HARLESS, Jahrbuch der deutschen Medicin und Chirurgie. III. pag. 270.
** PURKINJE, Beiträge etc. pag. 127. Neue Beiträge etc. pag. 118.

Gestalt auf. Diese belebten sich gleichsam allmählich, indem aus den in einander fliessenden Flecken weitere und engere, sich theilende, anastomosirende Gefässe wurden, in welchen die Blutkörperchen in rascher Bewegung verliefen, je nach dem Durchmesser des Gefässes nur eine Reihe oder zu mehren neben einander; die Richtung der Strömung in den verschiedenen Gefässen ging nach den verschiedensten Seiten, ein buntes Durcheinander, vollkommen dem Anblick bei der mikroskopischen Betrachtung des Kreislaufs in der Froschschwimmhaut z. B. vergleichbar. Unter ähnlichen Umständen, immer bei anscheinend eigenthümlichen Modificationen der Beleuchtung, bei besonders auch durch vorausgegangenen Druck angestrengten Augen habe ich die Erscheinung noch ein Paar Male gehabt; sie willkührlich, z. B. durch Druck, wie PURKINJE, hervor zu rufen, ist mir bisher noch nicht gelungen *. Unerklärlich werden die vorher besprochenen Erscheinungen durch die Möglichkeit dieser letzteren bei folgender Betrachtung.

JOH. MÜLLER sagt: „das Mass alles Masses, aller scheinbaren Grössen der Dinge ist die sich gleich bleibende wahre Grösse des Auges und seiner Netzhaut in der unmittelbaren Anschauung ihrer selbst.“ — Wenn wir nun im Stande sind, unter Umständen die Gefässe unserer Netzhaut unmittelbar, durch Druck wahrscheinlich der turgescirenden Gefässe auf die erregbaren Theile derselben, so gross wahrzunehmen, dass wir die einzelnen Blutkörperchen in ihnen kreisen sehen, so müssen wir dies das Mass alles Masses nennen, die wahre Grösse, die das Sehorgan in unmittelbarster Empfindung seiner eignen Theile wahrnimmt, und die anderen Gefässfiguren der Netzhaut, welche weit kleiner sind, sind schon nicht mehr wahre Grössen, sondern scheinbare Grössen, Grössen von Objecten, was nichts Anderes heissen würde, als dass die Erscheinungen bei jenen Versuchen ob-

---

* Später habe ich folgende Methode gefunden, den Kreislauf mir fast jeden Augenblick sichtbar zu machen: Während ein Auge geschlossen ist, sehe ich, nach vorausgegangenem Drucke aufs Auge, unverwandt und ohne Augenliedschlag in eine möglichst helle Fläche, indem ich z. B. durch eine Linse auf eine Lampenglocke sehe, so, dass kein Bild, sondern nur eine gleichmässig helle Fläche in der Oeffnung der Linse entsteht. Dann pflegt nach einiger Zeit das helle Gesichtsfeld sich (wahrscheinlich in Folge der Ueberreizung) in ein grünlich dunkeles zu verwandeln, und wenn es gelingt, dieses eine kleine Weile zu erhalten, so sehe ich jedesmal auf dieser dunkelen Fläche den Kreislauf; das während, des Versuchs durch den drückenden Finger geschlossene andere Auge ist immer für den Versuch vorbereitet. Mein linkes Auge ist, wie auch für die vorher besprochenen Versuche, besser geeignet, als das rechte.

jective Wahrnehmungen sind in dem Sinne, dass die Gefässe nicht unmittelbar in beschatteten Netzhautpartien empfunden, sondern mittelbar, wie äussere Objecte, angeschauet würden, was nur denkbar scheint, wenn jene Erscheinungen als Reflexions-Phänomene wahrgenommen würden, worauf, wie bemerkt, auch andere Umstände hinzudeuten scheinen; gleichwohl aber können dieselben Gefässfiguren bei geschlossenem Auge durch Druck hervorgerufen werden, was, wie es scheint, jene Hoffnung auf Erklärung wiederum gänzlich vernichtet. *

48.

Ich kehre nun zu den Bewegungserscheinungen der Augen zurück, zu den auf die optische Axe projicirten Drehungen, welche in allen angeführten Versuchen wahrgenommen wurden, und für welche wir in den Erscheinungen der Doppelbilder einen Spiegel und einen verhältnissmässig feinen Massstab besitzen.

Solche Drehungen finden, wie sich herausstellte, statt, wenn die Sehaxen aus der 45° unter den Horizont betragenden normalen Neigung in irgend eine andere Neigung übergehen, sobald die Sehaxen dabei nicht parallel grade aus gerichtet sind; und zwar ist die Grösse jenes Drehungsausschlags einerseits abhängig von der Grösse des Neigungsunterschiedes zwischen jener normalen und einer anderen secundären Stellung der Sehaxen; anderseits von der Grösse des Richtungsunterschieds zwischen der normalen parallel grade aus verlaufenden Richtung der Sehaxen und der convergirenden Richtung derselben in einer secundären Stellung. Bei der normalen Neigung aber von + 45° findet überall bei keinem Convergenzwinkel der Sehaxen eine Drehung um dieselbe statt. Die Richtung, in welcher die beobachteten Drehungen stattfinden, verhalten sich so, dass bei Convergenz der Sehaxen alle Neigungen oberhalb + 45° verbunden sind mit einer von Oben nach Aussen Unten gerichteten Drehung des Bulbus; alle Neigungen dagegen unterhalb + 45° mit einer von Oben nach Innen Unten gerichteten Drehung. Obgleich wir eine Divergenz der Sehaxen unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht

* Vergl. Joh. Müller, Handbuch der Physiologie. II. pag. 390.

beobachten können *, so können wir doch aus dem bei Untersuchung des Horopters für unsymmetrische Augenstellungen Gefundenen und aus dem angegebenen Versuche mit dem Nachbilde schliessen, dass bei Divergenz der Sehaxen die Drehung im entgegengesetzten Sinne stattfinden würde, nämlich bei Neigungen oberhalb + 45⁰ von Oben nach Innen Unten, bei Neigungen unterhalb + 45⁰ von Oben nach Aussen Unten. Was als Divergenz der Sehaxen nicht in Betracht kommt, ist von Wichtigkeit und findet Anwendung bei den unsymmetrischen Augenstellungen für je ein Auge, welches nach Aussen gerichtet ist.

In der Mitte der beiden Reihen, die die beiderlei Bewegungsarten der Sehaxen, nämlich Neigung und Convergenz (resp. Divergenz), bilden, liegen die Augenstellungen, bei welchen keine auf die optische Axe projicirte Drehung stattfindet, bei welchen die Trennungslinien identischer Netzhauthälften parallel, senkrecht und horizontal gerichtet sind, nämlich einerseits Neigung der Sehaxen um 45⁰ unter den Horizont, anderseits Parallelismus der Sehaxen. — Sehen wir nun, welchen Aufschluss diese Beobachtungen über die Mechanik der Augen, über das den Augenbewegungen zum Grunde liegende Princip zu geben vermögen.

Ich kann dabei nicht umhin, mich zunächst eines einfachen Beispiels zu bedienen, an dessen Erörterung sich die verwickelteren Verhältnisse, die bei den Augenbewegungen stattfinden, werden anknüpfen lassen.

49.

In Fig. 19. bedeutet *AB* eine Ebene, welche die Grundebene heissen möge. In dieser Grundebene liegen zwei in sogleich zu besprechender Weise bewegliche Flächen, *ED* und *HG*, welche rechtwinklig begränzt und gleich sind. Die ursprüngliche, in der Fig. 19. gezeichnete Lage dieser beiden Flächen in der Ebene *AB* soll nun die sein, dass die Kanten *EP* und *HP* parallel, die Flächen selbst also

* Auf verschiedene Weise können wir die Sehaxen zur Divergenz zwingen; Czermak hat in einer interessanten Schrift, die ich erst während des Druckes dieser Blätter erhielt (Physiologische Studien. Sitzungsberichte der math.-naturw. Classe der kais. Academie zu Wien, XII. p. 322.), neue derartige Versuche bekannt gemacht (§. 3). Daselbst ist auch der von mir im §. 43. besprochene Versuch zum Theil angegeben.

parallel gerichtet sind, und die Kanten *DP* und *PG* in einer graden Linie liegen. Diese Lage der beiden Flächen heisse die Primärstellung. Aus der Primärstellung kann jede Fläche nach zwei zu einander senkrecht stehenden Richtungen bewegt werden, und die Lage, welche der Fläche durch die Bewegung in einer dieser beiden Richtungen ertheilt wird, heisse eine Secundärstellung, so dass es also zwei Arten von Secundärstellungen giebt. Die erste Art der Secundärstellungen besteht darin, dass die Flächen um eine zur Grundebene *AB* senkrecht stehende Axe in der Grundebene selbst gedreht werden, so dass die Flächen dann also nicht mehr parallel gerichtet sind, sondern gegen irgend einen Punkt in der Ebene *AB* convergiren. Bei dieser Bewegung, die ich Convergenzbewegung nenne, bleiben die beiden Flächen *DE* und *HG*, so viel auch die dadurch erlangte Secundärstellung von der Primärstellung abweichen mag, stets in einer Ebene, nämlich in der Grundebene *AB*.

Die zweite Art der Secundärstellungen kann den beiden Flächen ertheilt werden durch Drehung um eine in der Richtung der Kanten *DP* und *PG* verlaufende, also senkrecht zu der ersteren stehende Drehungsaxe, z. B. durch Drehung um diese beiden Kanten selbst. Bei dieser Bewegung werden die beiden Flächen gegen die Grundebene *AB* geneigt, während sie ihre ursprüngliche parallele Richtung beibehalten. Die Kanten *DP* und *PG* bleiben bei allen auf diese Weise erlangten Secundärstellungen in der Ebene *AB*, und die beiden Flächen selbst liegen immer, bei jedem Neigungswinkel, welcher für beide Flächen stets ein und derselbe sein soll, in einer Ebene.

Es können nun endlich drittens die beiden Flächen *ED* und *HG* so bewegt werden, dass ihnen eine aus den beiden Secundärstellungen combinirte Stellung ertheilt wird, Neigung verbunden mit Convergenz, die ich eine Tertiärstellung nennen will. Bei allen Tertiärstellungen aber soll die Bestimmung gelten, dass die Kanten *DP* und *PG* der beiden Flächen immer, wie in der Primärstellung und wie in beiden Secundärstellungen, in der Grundebene *AB* verbleiben. Ich komme später darauf zurück, was diese Bestimmung für einen speciellen Fall hinsichtlich der Drehungsaxen involvirt, und vorläufig mag der empirische Ausdruck, dass die beiden genannten Kanten stets in der Grundebene *AB* liegen sollen, ohne weitere Interpretation bleiben. — Eine auf die genannte Weise zusammengesetzte Tertiärstellung ist in Fig. 20. angedeutet, und wir müssen die dabei stattfindenden Verhältnisse etwas näher betrachten.

Ich habe hervorgehoben, dass, wie es sich den Voraussetzungen nach von selbst verstand, bei allen Secundärstellungen die beiden

Flächen, die, wie ebenfalls vorausgesetzt wird, immer in völlig gleicher Weise, also auch um Gleichviel gedreht werden, in einer Ebene liegen, wobei es gleichgültig ist, dass diese Ebene nur bei den Secundärstellungen erster Art (Convergenz) zugleich die Grundebene *AB* ist. Bei den Tertiärstellungen ist dies niemals der Fall, die beiden Flächen liegen nicht mehr in einer Ebene, sondern bei gehöriger Ausdehnung schneiden sie sich, schliessen entweder oberhalb oder unterhalb einen Winkel, der kleiner ist als 180°, mit einander ein.

Bei der in Fig. 20. gezeichneten Tertiärstellung ist der Einfachheit wegen angenommen, dass die beiden Flächen mit ihren inneren Kanten gegen den Punkt *P* convergiren, in welchem sie sich berühren. Beide Flächen weichen um gleiche Winkel von der primären parallelen Richtung ab. *DP* und *PG* liegen der genannten Bestimmung zu Folge in der Grundebene *AB*, und der Neigungswinkel, um welchen jede Fläche aufwärts geneigt ist, wird gemessen durch den Winkel *CDK*, welcher mit n bezeichnet ist: es steht nämlich die in der Ebene *AB* gezogene Linie *KD* senkrecht auf der Kante *DP*, und *CD* steht der Voraussetzung nach gleichfalls senkrecht zu dieser Kante.

Die beiden Flächen liegen, wie gesagt, nicht in einer Ebene, sondern würden sich bei gehöriger Ausdehnung in einer gegen die Grundebene *AB* geneigten Linie *LM* schneiden; ein Punkt dieser Durchschnittslinie ist der Punkt *P*, in welchem sich die beiden Flächen *ED* und *HG* berühren; die Linie *LM* liegt vom Punkte *P* bis *M* oberhalb der Grundebene *AB*, von *P* bis *L* unterhalb derselben. Wird durch den Punkt *P* eine Ebene gelegt, auf welcher die Linie *LM* senkrecht steht, so schneidet diese Ebene die Flächen *ED* und *HG* in den Linien *NP* und *N'P*; sie schneidet ferner die Grundebene in der Linie *OPO'*. Die Linien *NP* und *N'P* nun schliessen in dieser Ebene einen Winkel ein, welcher gleich dem Flächenwinkel ist, unter welchen sich die Flächen *ED* und *HG* in der Linie *LM* schneiden; und dieser Winkel wird zu 180° ergänzt durch die beiden Winkel, welche die Linien *NP* und *OP* einerseits, *N'P* und *O'P* anderseits einschliessen, welche in der Figur mit x bezeichnet sind. — Dieser Winkel x existirt nicht, wenn die beiden Flächen *ED* und *HG* in einer Ebene liegen, also in den Secundärstellungen; er existirt aber in jeder Tertiärstellung, und seine Grösse ist abhängig sowohl von der Grösse des Neigungswinkels, als von der Grösse des Convergenzwinkels der beiden Flächen *ED* und *HG*. Beträgt in einer Tertiärstellung der Convergenzwinkel 180°, d. h. stehen sich die beiden Flächen grade gegenüber, so dass sie sich mit den Kanten *DP*

und PG berühren oder schneiden, so ist der Winkel x identisch mit dem Winkel n, dem Neigungswinkel. Beträgt der Neigungswinkel in einer Tertiärstellung 90^0, d. h. stehen beide Flächen senkrecht zur Grundebene AB, so ist der Winkel x identisch mit dem Convergenzwinkel geworden, die beiden Flächen schneiden sich dann mit den Kanten EP und HP unter dem Winkel x und sind parallel gerichtet, der Convergenzwinkel ist aufgegangen in dem Winkel x.

So wie nun in allen Tertiärstellungen die Flächen ED und HG gegen einander geneigt sind, so sind auch die Kanten CE und HI in entsprechendem Sinne gegen einander geneigt, aber unter einem Winkel, welcher weniger von 180^0 abweicht, als der Flächenwinkel, weil CE und HI nicht senkrecht zu der Durchschnittslinie LM stehen. Ich unterlasse es hier aus später anzugebenden Gründen einen Ausdruck zu berechnen für die Grösse des Winkels x und für die Grösse des Winkels, welcher jenem $> x$ für die Linien CE und HI entspricht, Ausdrücke, welche sich aus der Grösse des Winkels n und aus der des Convergenzwinkels ergeben würden, zumal da hierzu Constructionen erforderlich sein würden, welche sich nicht wohl in der Zeichnung ausführen lassen. Zunächst ist nur das von Interesse, dass in allen Secundärstellungen, bei welchen die Flächen in einer Ebene liegen, die Linien CE und HI auf eine Ebene projicirt in einer graden Linie liegen; dass dagegen in allen Tertiärstellungen, bei welchen die Flächen nicht in einer Ebene liegen, die Linien CE und HI auf eine Ebene projicirt nicht in einer graden Linie liegen, sondern sich unter einem Winkel schneiden, dessen Grösse abhängig ist von den Winkeln der beiden Secundärstellungen, aus welchen die Tertiärstellung zusammengesetzt ist.

Denken wir nun in jedem Auge eine Ebene gelegt durch die optische Axe und durch die horizontale Trennungslinie identischer Netzhauthälften, eine Ebene, welche ich nur für die folgende Erörterung kurz die optische Ebene nennen will, so sollen die bisher betrachteten beiden Flächen ED und HG die Analoga dieser beiden optischen Ebenen sein, indem die Linien CE und HI die horizontalen Trennungslinien identischer Netzhauthälften bedeuten mögen, und die auf diesen senkrecht stehenden Linien FK und TV die optischen Axen.

Erfolgen nun, wie wir den Fall setzen wollen, die Bewegungen der Augen, statt deren wir hier die der optischen Ebenen betrachten können, nach demselben Princip, nach welchem vorher die beiden Flächen bewegt wurden, so würden also die optischen Ebenen denselben Verhältnissen unterliegen, die eben besprochen wurden. Die Ergebnisse

obiger Versuche machen es nun sehr wahrscheinlich, dass das erörterte Beispiel Anwendung auf die Augenbewegungen erleiden kann. Was ich in dem Beispiele die Primärstellung der beiden Flächen genannt habe, ist die Normal- oder Primärstellung der Augen, bei welcher die Sehaxen parallel grade aus und 45° unter den Horizont geneigt sind; in dieser Stellung liegen die beiden optischen Ebenen in der Visirebene, die horizontalen Meridiane sind identisch mit den horizontalen Trennungslinien. Wir haben oben die symmetrischen Augenbewegungen in zwei Klassen getheilt, in Convergenzbewegungen und in Neigungen; dieselben Bewegungen hiessen bei den beiden Flächen erste und zweite Secundärstellungen. In beiden Reihen von Secundärstellungen blieben die beiden Flächen stets in einer Ebene, so dass demnach auch die Linien *CE* und *HI* auf eine Ebene projicirt in einer graden Linie lagen. Die optischen Ebenen verhalten sich, wie die Versuche lehren, grade so; wir fanden oben, dass bei 45° abwärts geneigten Sehaxen die horizontalen Trennungslinien identischer Netzhauthälften bei jedem Convergenzwinkel in einer graden Linie bei ihrer Projection z. B. auf die Horopterebene liegen, keinen Winkel mit einander einschliessen, so dass es in der ganzen Reihe dieser ersten Secundärstellungen eine Horopterfläche giebt. Ebenso stellte sich heraus, dass unter Beibehaltung des Parallelismus der Sehaxen bei jedem Neigungswinkel derselben, also in der Reihe der zweiten Secundärstellungen, die Augen ebenfalls keine Drehung um die optische Axe erleiden, die horizontalen Trennungslinien in einer graden Linie liegen. In allen Secundärstellungen liegen ebenfalls die optischen Ebenen in der jeweiligen Visirebene. Bei allen Stellungen der Augen aber, welche combinirt waren aus zwei Secundärstellungen, nämlich bei allen übrigen ausser den eben genannten, stellte sich eine auf die optische Axe projicirte Drehung heraus, welche ihrer Grösse nach abhängig war von der Grösse der Neigung der Sehaxen und von der Grösse ihres Convergenzwinkels. Diese Stellungen der Augen sind die Analoga der Tertiärstellungen der beiden Flächen *ED* und *HG*, bei welchen allen die beiden Flächen nicht mehr in einer Ebene liegen, *CE* und *HI* nicht mehr in einer graden Linie in der Projection liegen, was dadurch ausgedrückt werden kann, dass die beiden Flächen eine Drehung um die Linien *FK* und *TV* als Axen erlitten haben, welche Linien eben die Analoga der optischen Axen sein sollen. In den Tertiärstellungen der Augen liegen die beiden optischen Ebenen nicht mehr in der Visirebene.

Die Richtung der auf die optische Axe projicirten Drehung war nun nach obigen Versuchen die, dass unter Convergenz der Sehaxen

bei allen Neigungen derselben oberhalb der Primärstellung eine Drehung des Auges von Oben nach Aussen Unten stattfindet, und dass bei allen Neigungen unterhalb der Primärstellung (ebenfalls unter Convergenz der Sehaxen) eine Drehung des Auges von Oben nach Innen Unten stattfindet. Denken wir, dass die Flächen *ED* und *HG* die beiden optischen Ebenen vorstellen, während die Linien *CE* und *HI* die Projectionen der horizontalen Trennungslinien identischer Netzhauthälften bedeuten, so ist die in der Fig. 20. angedeutete Stellung dieser optischen Ebenen eine Neigung unterhalb der Primärstellung, denn die Richtung der Ebene *AB* oder eine ihr parallele Ebene in der Höhe der gedachten Trennungslinien ist die primäre Richtung, die Neigung der Sehaxen von 45^0 unter dem Horizonte. Die Drehung, welche in dieser Stellung z. B. die Fläche *ED* um die Axe *FK* erlitten hat, ist von Oben nach Innen Unten gerichtet, wie der Pfeil andeutet, übereinstimmend also mit der Drehung des Auges, welche bei der übrigens analogen Stellung desselben beobachtet wurde. Dass bei entgegengesetzter Neigung der Flächen *ED* und *HG*, nämlich bei Neigung oberhalb der Primärstellung verbunden mit Convergenz, eine Drehung im entgegengesetzten Sinne, so wie beim Auge stattfindet, ist leicht zu sehen.

Es herrscht also so weit eine vollständige Analogie zwischen den beobachteten Drehungen des Auges um die optische Axe und den in dem Beispiele stattfindenden Verhältnissen, welche wir jenen parallelisiren wollen; es fragt sich nun, wenn wir den Fall setzen, dass beide nach demselben Principe erfolgen, welche Bedeutung für die Augenbewegungen die in dem Beispiele geltende Bestimmung haben würde, dass in allen Stellungen der beiden Flächen *ED* und *HG* die Kanten *DP* und *GP* immer in der Ebene *AB* verbleiben sollten, eine Bestimmung, an welche das Stattfinden grade der Verhältnisse, die hier von Wichtigkeit waren, geknüpft ist. Wenn es richtig ist, dass den Bewegungen des Auges dasselbe Princip zum Grunde liegt, nach welchem jene beiden Flächen bewegt wurden, so liegt in der Uebertragung der in Rede stehenden Bestimmung auf die Augenbewegungen ein ganz bestimmter, einfacher und leicht verständlicher Sinn.

So wie das beim binocularen Sehen vorhandene gemeinschaftliche Gesichtsfeld repräsentirt oder zusammengefasst gedacht werden kann, in einer Ebene, welche in dem fixirten Punkte senkrecht zu der durch beide Sehaxen bestimmten Visirebene steht, so kann der Theil des Raumes, welcher in jeder Stellung das Gesichtsfeld eines Auges für sich allein betrachtet ausmacht, zusammengefasst gedacht werden in einer Ebene, welche, in gewisser Weise vergleichbar der Horopterebene

beim binocularen Sehen, in dem von dem einen Auge fixirten Punkte senkrecht zu der Sehaxe des einen Auges steht, so dass also diese Sehfeldfläche des einen Auges parallel zur Fläche der Pupille des einen Auges verläuft, während die Sehfeldfläche beider Augen oder die Horopterebene parallel zur Antlitzfläche (bei den symmetrischen Augenstellungen) gerichtet ist. Das Analogon der Visirebene beim binocularen Sehen würde bei einem Auge eine Ebene sein, welche durch die Sehaxe desselben und durch eine in der Sehfeldfläche dieses Auges gezogene horizontale Linie gelegt werden kann. Diese Visirebene des einen Auges nun ist, wenn die Bewegung desselben nach dem in Rede stehenden Princip erfolgt, bei allen Stellungen des Auges identisch mit der Ebene, die ich die optische Ebene genannt habe, wie leicht aus der Fig. 20. zu ersehen ist, indem z. B. für das linke Auge die ihm allein zugehörige Sehfeldfläche eine in der Linie *DP* senkrecht zu der optischen Ebene *ED* stehende Fläche sein würde, und zwar in allen Secundärstellungen und in allen Tertiärstellungen, und in dieser Fläche ist die Linie *DP* in Beziehung auf das Auge, dem jene angehört, immer eine horizontale Linie. Dies heisst nun nichts Anderes, als dass zunächst die horizontale und verticale Trennungslinie eines Auges in jeder Stellung desselben ein und dieselbe räumliche Relation zu dem Gesichtsfelde desselben einen Auges behalten, in Bezug auf dieses immer orientirt bleiben; da aber diese Linien für ein Auge bedeutungslos sind, so müssen wir diesem Ausdrucke die allgemeinere Form geben, dass jeder beliebige Punkt des Auges überhaupt, sei es ein Punkt der Iris, der Netzhaut etc., in jeder Stellung des Auges ein und dieselbe räumliche Beziehung zu einem Punkte von bestimmten räumlichen Beziehungen in dem jeweiligen Gesichtsfelde desselben Auges behält; das ganze Auge behält bei jeder Stellung ein und dieselbe Orientirung zu seinem Gesichtsfelde: ein Princip, welches in jeder Beziehung und besonders auch bei Berücksichtigung der das Auge umgebenden und mit ihm in Verbindung stehenden Theile und Organe wohl von vorn herein als das einfachste und natürlichste erscheint. Hieraus resultirt dann in oben erörterter Weise von selbst, dass für das gemeinschaftliche Gesichtsfeld beider Augen, oder für die abstracte Horopterebene, jedes Auge nur in der Primärstellung und in den Secundärstellungen orientirt bleiben kann, und dass in allen übrigen Stellungen, die wir Tertiärstellungen nennen können, eine Disorientirung beider Augen zu diesem gemeinsamen Sehfelde stattfindet, welche bedingt, dass in diesem gemeinsamen Sehfelde, in den Tertiärstellungen, keine Horopterebene existiren kann, sondern dass darin nur eine verticale

Horopterlinie existirt, so dass eine in der gemeinsamen Sehfeldfläche horizontale Linie dem Sehorgan nicht horizontal erscheint, sondern geneigt sowohl im Sinne des Sehfeldes des einen, als im Sinne des Sehfeldes des anderen Auges, d. h. als gekreuzte Doppelbilder. (Vergleiche das im §. 26. Gesagte.) Mit diesem Bewegungsprincipe stimmt nun auch der oben angegebene Versuch mit dem Nachbilde überein, und bezieht sich hierauf die dort gemachte Bemerkung (§. 42.), dass die Neigung, welche das Nachbild bei der genannten Veränderung des Sehfeldes des einen Auges erleidet, keine absolute ist, keine Neigung in dem neuen Sehfelde, sondern nur eine relative Neigung in Bezug auf die Dimensionen des anfänglichen Sehfeldes und in Bezug auf die Dimensionen des gemeinsamen Sehfeldes.

50.

Die Realisirung dieses Princips der Bewegung, dass jedes Auge in allen Stellungen zu dem ihm allein angehörigen Sehfelds-Raum orientirt bleibt, ist nun geknüpft an die Existenz von drei Drehungsaxen des Auges, welche nicht in einer Ebene liegen. Zwei Drehungsaxen, die der *Recti*, hätten genügt, dem Auge jede beliebige Stellung zu ertheilen, und wenn diese beide senkrecht zu der optischen Axe standen, so würde in den Secundärstellungen jedes Auge auch zu seinem Gesichtsfelde orientirt geblieben sein; aber in allen Tertiärstellungen würde die Orientirung unmöglich gewesen sein; jedes Auge würde nicht nur in Beziehung auf das gemeinsame Sehfeld, sondern auch in Beziehung auf das ihm allein zugehörige eine sich als Drehung um die optische Axe herausstellende Disorientirung erlitten haben, die dann für das gemeinsame Gesichtsfeld eine bei weitem beträchtlichere gewesen sein, und eine entgegengesetzte Richtung gehabt haben würde von derjenigen, die nach obigen Beobachtungen und nach dem daraus abgeleiteten Princip in Bezug auf das gemeinsame Sehfeld allein stattfindet.

Die dritte Drehungsaxe konnte eine sehr verschiedene Lage zu den anderen beiden haben, wenn sie nur nicht in einer Ebene mit ihnen lag. Die vom mechanischen Gesichtspunkte aus einfachste Anordnung würde diejenige gewesen sein, in welcher die dritte Axe senkrecht auf der Ebene der anderen beiden steht, was ungefähr das Zusammenfallen dieser dritten Axe mit der optischen Axe bedeuten würde, eine Anordnung, welche wir bei manchen Thieren wirklich finden (z. B. beim Kaninchen). Fände diese Anordnung beim Men-

schen statt, so würde das, was wir als Drehungsausschlag auf die optische Axe, als auf diese projicirte Drehung oben bei den Versuchen mit Doppelbildern beobachteten, die Drehung um die dritte Axe selbst sein; da aber diese dritte Axe, nämlich die der *Obliqui*, die optische Axe unter einem Winkel von etwa 36⁰ schneidet, so ist das, was wir beobachten können, nur die bei der Drehung um diese Axe der *Obliqui* für die optische Axe resultirende Drehung, welche weit geringer ist, als die zur Realisirung jenes Bewegungs-Princips in jedem Falle erforderliche Drehung um die Axe der *Obliqui*, und welche in allen Secundärstellungen sogar = Null ist, woraus keinesweges gefolgert werden darf, dass bei den Secundärstellungen keine Drehung um die Axe der *Obliqui* stattgefunden hätte, da dieser Schluss nur dann zulässig sein würde, wenn die beiden Axen der *Recti* senkrecht zu der optischen Axe ständen, was nicht der Fall ist.

Das eben abgeleitete Princip der Augenbewegungen ist nun, wenn ich die Worte richtig verstehe, dasselbe, welches in anderer, exacter Form von LISTING aufgestellt ist, dessen Worte RUETE in der zweiten Auflage seines Lehrbuchs der Ophthalmologie* wiedergegeben hat. Sie lauten: „Aus der normalen Stellung des Auges, welche die primäre heissen mag, wird das Auge in irgend eine andere, secundäre, durch die Cooperation der sechs Muskeln in der Weise versetzt, dass man sich diese Versetzung als das Resultat einer Drehung um eine bestimmte von den obigen (d. i. wirklichen) drei verschiedene Drehungsaxe vorstellen kann, welche jederzeit, durch das Augencentrum gehend, auf der primären und der secundären Richtung der optischen Axe zugleich senkrecht steht, so dass also jede secundäre Stellung des Auges zur primären in der Relation steht, vermöge welcher die auf die optische Axe projicirte Drehung = Null ist“. Unter den vielfachen Consequenzen dieses Princips, hebt RUETE diejenige hervor, „dass nämlich das Auge beim Uebergange aus einer secundären Stellung in eine andere secundäre eine ihrer Grösse nach bestimmbare Drehung um seine optische Axe erfährt, welche nur in dem besonderen Falle Null ist, wenn die drei Richtungen der optischen Axe in der primären und in den beiden secundären Stellungen in einer Ebene liegen.“

Wenn in diesen Worten der Ausdruck „Secundärstellung“ denselben Sinn hat, für welchen ich das Wort gebraucht habe, im Gegensatz zu den immer aus zweierlei Secundärstellungen combinirten Ter-

* Pag. 37.

tiärstellungen, deren qualitative Unterscheidung durch die Ergebnisse der Versuche gerechtfertigt ist, und wenn das, was Ruete den Uebergang aus einer Secundärstellung in eine andere Secundärstellung, mit obiger Einschränkung, nennt, gleichbedeutend ist mit der Bezeichnung Tertiärstellung, so ist dieses Listing'sche Princip identisch mit dem oben abgeleiteten, und für diesen Fall würden demnach die Ergebnisse obiger Versuche einen bisher noch nicht geführten experimentellen Beweis für die Richtigkeit des von Listing aufgestellten Princips enthalten. Der Nachweis, dass hinsichtlich der Quantität, d. h. hinsichtlich der Grösse der beobachteten Drehung * um die optische Axe und der nach diesem Principe verlangten Grösse derselben Uebereinstimmung stattfindet, so wie dieselbe in qualitativer Beziehung stattfindet, ist noch zu führen, und gewiss darf die weitere Entwicklung seines Princips und die Anwendung desselben auf die Functionen der einzelnen Augenmuskeln von Seiten des Professor Listing gehofft werden, weshalb ich hier den Versuch einer Berechnung des Drehungsausschlags für die optische Axe, wie er an obigem Beispiele möglich aber umständlich sein würde, unterlasse **.

Es versteht sich nach allen mitgetheilten Beobachtungen von selbst, dass bei allen Berechnungen und Messungen nicht wie bisher die Stellung des Auges als die primäre, als die normale zum Grunde gelegt werden darf, bei welcher die Sehaxe gradeaus horizontal gerichtet ist, sondern dass in der Primärstellung die Sehaxe ungefähr 45^0 (nach meinen Beobachtungen) unter den Horizont geneigt ist, eine Winkelgrösse, deren allgemeine Gültigkeit erst durch Beobachtungen Anderer bestätigt und controlirt werden muss. Ausserdem

* Ich habe schon erinnert, dass die obigen Zahlen, zumal ihnen nur die Versuche an einem Individuum zum Grunde liegen, vorläufig nur einen relativen Werth unter sich besitzen können.

** Es könnte scheinen, als ob ohne diese Ableitung der quantitativen Uebereinstimmung zwischen den Ergebnissen meiner Versuche und den Postulaten jenes Princips so gut wie Nichts abgeleitet wäre. Dem ist aber nicht so; denn einerseits ist die Uebereinstimmung hinsichtlich der Qualität der beobachteten Drehungen bei einem so ganz bestimmt charakterisirten Bewegungsprincip, welches, so wie nach allen Seiten scharf begränzt, so auch in jeder Beziehung sich als das Natürlichste gleichsam und als das möglichst Vollkommene herausstellt, an sich ein sehr bedeutungsvolles Moment; und anderseits habe ich mich unter Zugrundlegung jener paradigmatischen Zahlen durch approximative Berechnung davon überzeugt, dass auch quantitativ eine Uebereinstimmung stattfindet, die freilich, wie zu erwarten, noch keineswegs genau, aber hinlänglich ist, um trotz der manchfachen Quellen von Beobachtungs- und Messungsfehlern, für die Richtigkeit jenes Bewegungsprincips zu sprechen.

wird es von Wichtigkeit sein, zu untersuchen, in welchem Verhältniss die Drehungsaxen der Augenmuskeln, und die Insertionspunkte oder vielmehr Insertionslinien derselben zu der Primärstellung stehen, da die darauf bezüglichen Angaben bisher die horizontale Richtung als die normale vorausgesetzt haben.

51.

Was der Horopter in dem Sinne ist, welchen JOH. MÜLLER zuerst diesem Worte ausschliesslich beilegte, haben wir auf experimentellem Wege nachzuweisen gesucht. AGUILONIUS aber, wie schon Eingangs erörtert wurde, schuf das Wort nicht deshalb, um damit den Theil des Raumes zu bezeichnen, in welchem diejenigen Punkte liegen, welche zugleich mit dem fixirten einfach gesehen werden, sondern für ihn war der Horopter zunächst nur eine durch den fixirten Punkt gehende Linie, *quae visum finit ac terminat;* in dieser Linie, sagt er, haben alle gesehenen Punkte ihren wahren oder scheinbaren Ort. Aus dieser Eigenschaft der Horopterlinie folgert er dann, dass alle Punkte, welche wirklich in jener Linie liegen, also dort ihren wahren Ort haben, einfach gesehen werden müssen, dass dagegen alle übrigen Punkte, welche nur ihren scheinbaren Ort in jener Linie haben, doppelt erscheinen müssen. Dass in dieser letzten Eigenschaft der Horopter des AGUILONIUS wirklich eine grade Linie ist, welche durch den fixirten Punkt parallel der die Augencentra verbindenden Linie verläuft (bei den oben sogenannten symmetrischen Augenstellungen), haben wir gesehen: AGUILONIUS berücksichtigte nur die Visirebene und den in dieser liegenden Theil des Horopters, welcher dann, wenn er überhaupt existirt, jene grade Linie darstellt. Es ist nun noch zu untersuchen, welche Bedeutung dem Horopter, der Horopterebene für die Raumanschauung zukommt.

52.

Wenn unter den einfachsten Umständen eine Einwirkung auf das Sehorgan geschieht, indem sich z. B. ein leuchtender Punkt vor dem Auge befindet, so veranlasst der durch die Einwirkung gesetzte psychische Erregungszustand eine Vorstellung, welche zusammenge-

setzter Art ist, so fern wir auch unter den einfachsten Umständen im Stande sind, den seiner Qualität nach uns völlig unbekannten psychischen Erregungszustand durch eine Anzahl von in der veranlassten Vorstellung sich geltend machenden Eigenschaften zu charakterisiren und von anderen ähnlichen zu unterscheiden.

Den Erregungszustand selbst, die Empfindung, nennen wir Licht, und unterscheiden daran zunächst verschiedene Grade der Intensität. Die Qualität des Lichtes kann verschieden sein, wir können uns einer unendlichen Zahl manchfacher Nüancirungen bewusst werden; diese Qualitäten nennen wir Farben. Eine Lichtempfindung ist uns nicht ein einem Schmerzgefühl, einer Geschmacks- oder Geruchsempfindung unmittelbar Vergleichbares, nicht ein diesen analoger Erregungszustand. Denn in einem Schmerzgefühl werden wir uns des Zustandes eines unserer eigenen Organe bewusst; in der Nase ist die Geruchsempfindung, auf der Zunge die Geschmacksempfindung localisirt; es sind dies Erregungszustände, welche wir gezwungen sind, auf Theile unseres Körpers, des Subjects, zu beziehen. Eine Lichtempfindung erweckt nicht die Vorstellung eines bestimmten Zustandes unseres peripherischen Sehorgans, sondern sie erweckt die Vorstellung eines völlig Objectiven; die Vorstellung eines Aussen in Bezug auf uns selbst ist unmittelbar mit jeder Lichtempfindung verknüpft. Erscheint ein zweiter leuchtender Punkt vor dem Auge, welcher dem ersten völlig gleich beschaffen ist, so haben wir nicht, wie vorher, eine einzige Lichtempfindung, deren Intensität nur die doppelte der bisherigen wäre, sondern wir nehmen zwei isolirte gleichzeitig neben einander bestehende Gesichtseindrücke wahr. Diese Eigenschaft theilt das Sehorgan keinesweges mit allen übrigen Sinnesorganen. Wirken auf das Gehörorgan gleichzeitig zwei vollkommen gleich beschaffene Reize, Töne von gleicher Höhe und Timbre, so unterscheiden wir nicht zwei einzelne isolirte Eindrücke, sondern die Intensität des empfundenen Tons ist proportional der Stärke des zweiten Eindrucks gesteigert. Ebenso verhalten sich Geschmacks- und Geruchseindrücke. Im Sehorgane giebt es Empfindungs*einheiten*; mehre gleiche Eindrücke gleichzeitig erfolgend summiren sich nicht zu einer Resultante, sondern stehen abgegränzt und gesondert vor dem Bewusstsein. Die Eigenschaften eines einfachsten Gesichtseindrucks sind noch nicht erschöpft. Darin, dass wir im Stande sind, mehre Gesichtseindrücke gleichzeitig zu haben, und dass sich mit jedem die Vorstellung des Objectiven verbindet, liegt noch keineswegs ausgesprochen, dass wir uns nun auch gewisser Beziehungen zwischen den einzelnen Empfindungseinheiten bewusst werden. Ein Ton ist uns etwas Objectives,

und wir hören die verschiedenen Töne eines Accordes gleichzeitig, wir können einzelne Töne ganz gesondert aus einem Orchester heraushören; aber bei dem gleichzeitigen Nebeneinander vieler Töne fehlt, abgesehen von inneren, in der Qualität der einzelnen begründeten Relationen, jede Art von Beziehung; wir können Nichts weiter sagen, als dass sie gleichzeitig nebeneinander sind.

Zwischen den Empfindungseinheiten in der Sphäre des Gesichtssinnes giebt es räumliche Beziehungen: wir nehmen die einzelnen Gesichtseindrücke als Objectives räumlich localisirt wahr. Diese Localisation einer jeden Empfindungseinheit besteht aus der Vorstellung von dreierlei Beziehungen derselben zu anderen; wir nennen diese die Werthe in den drei Dimensionen. Alle gleichzeitig in der Vorstellung vorhandenen Lichtempfindungen bilden nicht ein blosses Nebeneinander, ein Gleichzeitiges, sondern sie sind uns in einer bestimmten Anordnung, sie erwecken die Vorstellung des räumlichen Nebeneinander, indem jeder Empfindungseinheit ein bestimmter Werth in der Dimension der Breite, Höhe und Tiefe zukommt.

Erst wenn wir uns der Vorstellung dieser Beziehungen bewusst geworden sind, haben wir ein Recht dazu, einen einfachsten Gesichtseindruck, wie wir ihn uns dachten, punktförmig zu nennen. Die Existenz von objectiv wahrgenommenen Empfindungseinheiten in der Sphäre des Gesichtssinns und das gleichzeitige Vorhandensein der räumlichen Beziehungen der einzelnen Empfindungseinheiten unter einander fassen wir zusammen in dem Begriffe „Gesichtsfeld“. Alle Gesichtseindrücke, die äusseren Reize mögen sein, welche sie wollen, erscheinen im Gesichtsfelde localisirt.

Haben wir so aus einander gelegt, nach welchen verschiedenen Richtungen hin sich die Leistungen des Sinnesorganes erstrecken, sind wir uns der Eigenschaften des durch den einfachsten Reiz veranlassten Erregungszustandes bewusst geworden, so stellt sich die Aufgabe, zu untersuchen, wodurch alle jene Werthe bedingt sind, und angesichts des Satzes, dass Alles, was für die Seele da sein soll, Alles, was in der Vorstellung sein soll, auf die Seele wirken muss, suchen wir in der verschiedenen Beschaffenheit zunächst nur der letzten inneren, auf das centrale Sehorgan wirkenden Reize die ursächlichen Momente für alle jene nach verschiedenen Richtungen hin möglichen Unterschiede der Lichtempfindungen. Die Lichtempfindung selbst führen wir zurück auf die Einwirkung von Aetherwellen auf die Retina; die Intensität der Empfindung ist abhängig von der Vibrationsintensität; den Grund für die verschiedenen Qualitäten des Lichts finden wir in der Verschiedenheit der Wellenlängen. Die Existenz von Empfindungsein-

heiten ist physikalischer Seits ermöglicht durch die Einrichtung und Anordnung der brechenden Medien des Auges.

Kennen wir Verschiedenheiten der äusseren Reize, der Lichtwellen, so dürfen wir ihnen die Fähigkeit zuschreiben, Nervenprocesse in den Fasern des Sehnerven zu erregen, welche sich durch entsprechende Verschiedenheiten von einander unterscheiden. Hinsichtlich des Zustandekommens von Empfindungseinheiten, dürfen wir uns nicht mit der Annahme befriedigen, dass es an der Peripherie des Sehorgans, auf der Retina den Empfindungseinheiten entsprechende feste Empfindungskreise giebt. Das Dasein solcher Empfindungskreise ist kein Reiz; sie können durch ihr blosses Dasein nicht auf die Seele wirken. Gewiss wird es anatomische Einrichtungen im peripherischen Sehorgan geben, welche es bedingen, dass in irgend einer unbekannten Weise Anregungen für die Seele entstehen, die zur Vorstellung von Empfindungseinheiten zwingen; aber diese anatomischen Einrichtungen allein sind keine ausreichende Erklärung für das Factum. Die Physiologie solcher anatomischer Empfindungskreise, aus welchen die Retina bestehen mag, so fern sie eine der Bedingungen für das Zustandekommen physiologischer Empfindungskreise sind, ist uns unbekannt. Hinsichtlich der objectiven Vorstellung, welche sich mit jeder Empfindungseinheit in der Sphäre des Gesichtssinns verknüpft, können wir nur sagen, dass alle psychischen Erregungszustände, deren Qualität wir Licht nennen, den Werth für die Seele besitzen müssen, dass sie die Vorstellung des Objectiven zu bilden gezwungen ist, so wie andere Erregungszustände den Grund in sich tragen, die Vorstellung des Subjectiven zu bilden. Der Ausdruck der objectiven Wahrnehmung der Gesichtseindrücke ist keinesweges identisch damit, dass dies Objective nun auch im Raume wahrgenommen wird. Auch die Töne sind in diesem Sinne mit objectiver Vorstellung verknüpft, aber wir hören sie nicht im Raume. Der Begriff des Raumes, noch ganz abgesehen von den drei Beziehungen in demselben, ist in eben so inniger Weise mit jeder Lichtempfindung verbunden, wie der des Objectiven; der erstere aber setzte die Existenz des letzteren voraus. Die näheren Bestimmungen nun, welche einer Empfindungseinheit dem Raume nach zukommen, die Beziehungen nach den drei Dimensionen können wir nicht anders ansehen, als als Eigenschaften, Qualitäten der Lichtempfindung in jener Kategorie, von einem allgemeinen physiologischen Gesichtspunkte aus in gewisser Weise vergleichbar den Qualitäten, die wir Farben nennen gleichsam in der Kategorie Licht. Ein und derselbe Lichteindruck kann alle möglichen verschiedenen Werthe in der Dimension der Breite, Höhe und Tiefe besitzen, und

diese dreierlei Werthe sind uns Eigenschaften des Lichteindrucks. Eine Untersuchung, wie das Zustandekommen so manchfach verschiedener Raumwerthe möglich ist, ist vollkommen unabhängig von der Frage, wie wir zur Vorstellung des Raumes überhaupt gelangen. Die Physiologie darf diese Vorstellung als etwas Gegebenes ansehen, hat aber nach den Momenten zu suchen, welche das System aller möglichen Raumwerthe, die eine Empfindungseinheit haben kann, bedingen. Es bedarf nicht der weiteren Erwähnung, dass alle Grössen- und Gestaltverhältnisse, zu deren Vorstellung wir durch Gesichtseindrücke veranlasst werden, Eigenschaften zusammengesetzter Empfindungen, nichts Anderes sind, als Raumwerthe von Empfindungseinheiten, Eigenschaften also, welche wir an den einfachsten Gesichtsempfindungen untersuchen können. Wir nehmen keine absolute Grössen wahr, sondern in den wahrgenommenen Grössenverhältnissen gelangen nur räumliche Beziehungen von Punkten, Empfindungseinheiten unseres peripherischen Sehorgans zum Bewusstsein. Wir dürfen daher auch, streng genommen, nicht von einem absoluten Raume mit drei Dimensionen reden. Nur für uns giebt es Farben, absolut giebt es Aetherwellen von verschiedener Schwingungsdauer, und so wie wir wissen, dass es Aetherwellen von solchen Wellenlängen giebt, welche für uns keine Farben mehr sind, so können wir mit Sicherheit auch nur sagen, dass es für uns drei Dimensionen giebt; deshalb ist für uns kein anderer Raum, als der aus drei Dimensionen bestehende denkbar und vorstellbar, damit aber keinesweges die Frage entschieden, ob der Raum, welcher in unserer Vorstellung ist, ein wirklich existirender, ein einzig möglicher ist. — Betrachten wir aber die drei Dimensionen als etwas Absolutes, als etwas Gegebenes, nehmen wir an, alle Punkte des Gesichtsfeldes haben wirklich einen aus drei Beziehungen bestehenden absoluten Raumwerth, so fragt sich nun, auf welche Weise wir zur Wahrnehmung derselben gelangen, wie die räumlichen Verhältnisse eines Punktes auf das Sehorgan zu wirken vermögen.

53.

Das letzte ursächliche Moment eines jeden psychischen Erregungszustandes, die Einwirkung eines äusseren Reizes können wir im Allgemeinen ansehen als die Wechselwirkung, in welche zwei Körper treten. Das Resultat jeder Wechselwirkung ist nicht von dem einen Körper allein abhängig, sondern stets von beiden. Wissen wir, dass die Resultate zweier nach einander folgender Wechselwirkungen zwi-

schen denselben Körpern verschieden sind, und dass dennoch die Wirkung des einen der beiden Körper in beiden Fällen genau ein und dieselbe gewesen ist, so können wir schliessen, dass der andere Körper sich in beiden Fällen in verschiedener Weise bei der Wechselwirkung betheiligt hat. Eine einfachste Lichtempfindung, das End-Resultat der Wechselwirkung zwischen einem leuchtenden Punkte und dem peripherischen Sehorgan, kann die verschiedensten Raumwerthe nach einander für uns besitzen, ohne dass ihre übrigen Eigenschaften im Geringsten dabei eine Veränderung zu erleiden brauchen. Der leuchtende Punkt kann (und diesen allgemeinsten Fall berücksichtigen wir natürlich zunächst allein) immer auf gleiche Weise wirken, er mag sich im Raume des Gesichtsfeldes befinden, wo es sei; da das letzte Resultat seiner Einwirkung, die durch die Empfindung veranlasste Vorstellung, in den Raumwerthen verschieden ist je nach den vorausgesetzten wirklichen Raumwerthen, so schliessen wir daraus, dass der zweite Körper, welcher mit jenem in Wechselwirkung trat, nämlich der peripherische, erregbare Theil des Sehorgans sich bei der Wechselwirkung in verschiedener Weise verhalten hat und dadurch die fraglichen Verschiedenheiten der übrigens gleichen psychischen Erregungszustände bedingte. An dem peripherischen Sehorgan also müssen wir Einrichtungen suchen, welche in so fern die Möglichkeit der Einwirkung der verschiedenen Raumwerthe bedingen, als dasselbe selbst sich in verschiedener Weise bei dem inneren Reize, bei dem Nervenprocesse betheiligen muss, wenn ein Lichtreiz nach einander von verschiedenen Punkten des Gesichtsfeldes aus mit ihm in Wechselwirkung tritt.

Sobald wir diese Einrichtungen kennen, die ein dem System der Raumwerthe entsprechendes System verschiedener Färbungen oder Werthe dem inneren Reize, d. h. dem durch den äusseren Reiz angeregten Nervenprocess zu verleihen im Stande sind, dann haben wir die Perception der Raumwerthe als Eigenschaften von Lichteindrücken eben so weit (oder so wenig) verfolgt, wie die der anderen Qualitäten derselben; beide nämlich nur bis zu dem Momente, wann sie beginnen als uns unbekannte innere Reize den peripherischen Theil des Sehorgans zu verlassen.

54.

Der peripherische Theil unseres Sehorgans besteht aus zwei beweglichen Augen. Unterwerfen wir jedoch diese nicht sogleich beide in ihrer Gemeinschaft der Untersuchung, sondern sehen wir, welche

Einrichtungen zur Perception von Raumwerthen, um einen kurzen Ausdruck zu gebrauchen, ein mit einem einzigen beweglichen Auge ausgerüstetes Sehorgan darbietet. Dabei wird sich herausstellen, ob entweder in Beziehung auf die Raumanschauung ein Auge ausgereicht haben würde, oder ob eben die Doppelheit dieses peripherischen Theiles selbst eine der gesuchten Einrichtungen ist.

Die der Seele von vorn herein *potentia* eingepflanzte räumliche Anschauung, eine Fähigkeit, welche sie entfaltet, sobald gewisse Reize sie dazu anregen, können wir dahin zusammenfassen, dass einer jeden Empfindungseinheit in der Sphäre des Gesichtssinns ein auf ein aus rechtwinklig sich schneidenden graden Linien bestehendes Coordinatensystem bezogener Breiten- Höhen- und Tiefenwerth zukommt. Wir betrachten diese drei den Raumwerth zusammensetzenden Werthe einzeln, und um zuerst die Breitendimension in Betracht zu ziehen, denken wir, dass das Gesichtsfeld des einzigen Auges in einer graden Linie besteht, welche die Coordinate der Breite selbst ist. Die Entfernung dieser Linie ist vorläufig gleichgültig, da wir die Tiefendimension noch nicht berücksichtigen: über die Lage, in welcher diese Linie in Bezug auf das Auge zu denken ist, kann kein Zweifel sein; denn da die Coordinaten der später einzuführenden Dimensionen rechtwinklig gedacht werden müssen zu der Coordinate der Breite, so können wir letztere uns nur als eine für das jetzt allein in Betracht kommende Auge horizontale und rechtwinklig zur Sehaxe stehende grade Linie denken; eine jede anders gelegte Linie können wir nicht als die Coordinate der Breite selbst, als die Vertreterin dieser Dimension für unsere Raumanschauung einführen, da die Raumwerthe der Punkte irgend einer anderen Linie selbst erst eine in obiger Weise gedachte Coordinate der Breite voraussetzen, auf welche sie bezogen werden. Der Punkt dieser Linie nun, welchen die rechtwinklig auf ihr stehende Sehaxe trifft, hat für uns den Raumwerth, dass er sich in der Mitte des Gesichtsfeldes oder vorläufig der Gesichtslinie befindet. Die Raumwerthe aller übrigen Punkte der Breitencoordinate sind Beziehungen zu diesem Mittelpunkte, welcher der Nullpunkt in dem ganzen System, in der ganzen Scala ist. Es fragt sich zunächst, wie die Seele zur Vorstellung dieser ganz besonderen Beziehung des direct gesehenen Punktes gelangt, nämlich, dass er die Mitte des Gesichtsfeldes einnimmt.

Von vorn herein müssen wir den Gedanken zurückweisen, als ob eine hinlängliche Antwort hierauf darin enthalten sei, dass der Punkt a im Raume den Punkt α der Netzhaut errege, und da nun α die

Mitte der Netzhaut sei, so müsse die Erregung dieses Punktes auch in der Mitte des Gesichtsfeldes wahrgenommen werden.

Einer solchen Erklärung muss nothwendig die Voraussetzung zum Grunde liegen, dass der Act des Sehens darin bestände, dass die Seele die physischen Bilder, welche sich auf der Netzhaut entwerfen, betrachtete wie einen Spiegel. *a* ist ein Ort auf der Netzhaut, und dass dieser Ort in der Mitte derselben liegt, das kann die Seele nicht eben bloss durch diese Lage wahrnehmen, welche kein Reiz ist.

Denken wir, es erscheine dem übrigens nicht weiter erregten Auge plötzlich der leuchtende Punkt *a* an einer beliebigen Stelle des Gesichtsfeldes, so ist eine entschiedene Tendenz vorhanden, die Stellung des Auges so zu verändern, dass *a* nicht mehr an einer beliebigen Stelle erscheint, sondern dass dieser Punkt den Punkt des deutlichsten Sehens erregen kann: es ist ein Bestreben vorhanden, den Mittelpunkt der Netzhaut auf das leuchtende Object zu richten. Wird dieses so deutlich als möglich gesehen, so hört jene Bewegungstendenz auf. Hierin liegt eins der Hauptmomente für das Zustandekommen der Raumanschauung. So lange ein leuchtender Punkt andere Punkte, als den Mittelpunkt der Netzhaut erregt, ist ausser der seiner qualitativen Erregung entsprechenden Empfindung immer noch eine andere Wirkung seiner Erregung vorhanden, welche in der Tendenz besteht, dem qualitativen Eindrucke des leuchtenden Punktes die grösstmögliche Intensität und Schärfe zu verleihen, welche sich in solchen Bewegungen geltend machen k a n n, die dem leuchtenden Punkte den Mittelpunkt der Netzhaut, den Punkt des deutlichsten Sehens gegenüberstellen. Hierin müssen wir eine Einrichtung sehen, vermöge welcher, wenn wir voraussetzen, dass die Seele überhaupt so beschaffen ist, geneigt ist, durch bestimmte Reize zur Vorstellung räumlicher Beziehungen angeregt zu werden, der leuchtende Punkt *a* in der Vorstellung durch eine ganz besondere Beziehung zunächst in der Dimension der Breite vor allen übrigen gleichzeitig gesehenen ausgezeichnet sein kann. Der direct gesehene Punkt ist gleichsam der Ruhepunkt jener Bewegungstendenz, die Negation derselben, und als solchen bezeichnen wir ihn als den Nullpunkt unserer Coordinate, von welchem aus nach beiden Seiten hin die Breitenwerthe der übrigen Punkte bemessen werden. Der Mangel einer Tendenz zu weiteren Bewegungen des Auges, bedingt durch die grösstmögliche Schärfe und Deutlichkeit des qualitativen Eindrucks dann, wann der Mittelpunkt der Netzhaut auf den Punkt *a* gerichtet ist, erscheint als das Moment, durch welches *a* als in der Mitte des Gesichtsfeldes gelegen, als Beziehungspunkt für die Raumwerthe der übrigen Punkte wahrgenommen wer-

den kann *. Die Existenz eines solchen Punktes des peripherischen Sehorgans, dessen Erregung eine in jedem Falle qualitativ besondere und ausgezeichnete Wirkung zur Folge hat, musste schon vorausgesetzt werden, wenn von räumlichen Beziehungen die Rede war, welche nicht etwa einzeln, isolirt dastehende Facta, sondern ein Ganzes, ein System zusammengehöriger Elemente sein sollten.

Ebenso nun, wie uns nicht die Lage des Mittelpunktes der Netzhaut an sich eine Erklärung für die besprochene räumliche Beziehung eines diesen Punkt erregenden Objects ist, so ist auch nicht das Lagenverhältniss irgend eines anderen Netzhautpunktes in Bezug auf den Mittelpunkt an sich der Grund, weshalb ein Punkt der Breitencoordinate, welcher indirect gesehen wird, diese oder jene räumliche Beziehung zu dem direct gesehenen Punkte hat. Wäre es so, so müsste allerdings mit Recht das Factum, dass ein im Raume links vom fixirten Punkte gelegenes Object einen Punkt der Retina erregt, welcher rechts vom Mittelpunkte liegt, eine grosse Schwierigkeit in der Erklärung unserer Raumanschauung verursachen.

Die Erregung jedes Punktes der Netzhaut trägt in ihrem Endresultate die Tendenz in sich, das Auge so zu bewegen, dass der Punkt des deutlichsten Sehens jener Erregung ausgesetzt wird, und jeder Punkt auf unserer Breitencoordinate verlangt eine qualitativ oder quantitativ besondere Bewegung des Auges, wenn jener Tendenz Genüge geleistet wird. Dem entsprechend dürfen wir annehmen, dass die Bewegungstendenz selbst, deren Auftreten durch die Erregung der Netzhautpunkte unmittelbar bedingt ist, für jeden Fall eine besondere sein wird, und in diesen eine abgestufte, zusammengehörige Reihe bildenden Erregungszuständen dürfen wir die Momente sehen, wodurch die Seele zur Vorstellung des entsprechend abgestuften Systems von Breitenwerthen angeregt wird; wir sehen sie als die Reize an, durch welche diese Raumwerthe wirken, und wenn wir dabei die Beantwortung der Frage nach dem Wie völlig offen, zum Theil der Psychologie überlassen, so ist das nichts Anderes, als wenn wir uns vorläufig auch damit begnügen, gefunden zu haben, dass bei der Empfindung verschiedener Farben Aetherwellen von verschiedener Schwingungsdauer auf die Netzhaut einwirken; wie diese zunächst verschiedene Nervenprocesse zu erregen im Stande sind, und worin diese verschieden sind, müssen wir unbeantwortet lassen.

Ob nun jener Bewegungstendenz beim indirecten Sehen durch wirklich ausgeführte Bewegungen Genüge geschieht oder nicht, ist

---

* Vergl. hierüber besonders Lotze, medic. Psychologie §. 30.

für den Werth, welchen wir der Tendenz für die Seele zuschreiben, völlig gleichgültig. Der Erregungszustand ist vorhanden und kann als solcher unter allen Umständen die Seele zur Bildung einer Vorstellung anregen; wenn er eine zweite, der Peripherie zugewendete Wirkung auszuüben nicht gehindert wird, wenn er wirkliche Bewegungen ausserdem zur Folge hat, deren Auslösung aber durch unmittelbaren psychischen Einfluss, durch den Willen gehindert werden kann, so fügt dies jener ersten Wirkung weder Etwas hinzu, noch ist das Auftreten derselben an das der letzteren Wirkung geknüpft.

Wenn es nun in einem physiologischen Mechanismus begründete Bewegungstendenzen sind, welche die Seele zur Bildung der Vorstellung bestimmter Raumwerthe anregen, so sind dies an sich weder gleiche noch ähnliche Processe, sie sind so verschieden, wie die Differenzen der Wellenlängen von den Farbenunterschieden verschieden sind, und eine Bewegungstendenz, welcher durch Bewegungen eines Retinapunktes nach Links entsprochen wird, hätte die dazu geneigt vorausgesetzte Seele eben so wohl zur Vorstellung eines Oben oder Unten oder eines Links oder irgend einer anderen Richtung anregen können, wie sie dieselbe nun aus anderen nicht so fern liegenden Gründen zur Bildung der Vorstellung eines Rechts anregt *.

So wie wir an dem mit einem beweglichen Auge ausgerüsteten Sehorgane Einrichtungen finden, die hinreichen, um den Werthen in der Dimension der Breite Gelegenheit zur Einwirkung zu geben, so sind dieselben auch für die Werthe in der Dimension der Höhe in derselben Weise vorhanden. Führen wir diese in die Betrachtung ein, so ist das Gesichtsfeld nun eine senkrecht vor dem Auge stehende Ebene, und jeder Raumwerth in dieser Ebene kann durch Einrichtungen, welche ein Auge bietet, einen entsprechenden Eindruck hervorrufen, so fern die Netzhaut selbst flächenartig ausgebreitet ist, und die Erregung jedes ihrer Punkte eine besondere Bewegungstendenz zur Folge haben muss, um den Punkt des deutlichsten Sehens der Erregung gegenüber zu stellen. Beständen daher die in unserer Vorstellung vorhandenen räumlichen Beziehungen nur in Breiten- und Höhenwerthen, wäre also der Raum, welchen wir kennen, eine senkrecht vor dem Auge stehende Ebene in stets gleichbleibender oder gar nicht in Betracht kommender Entfernung von demselben, so würden die an einem einzigen Auge vorhandenen Einrichtungen vollkommen hinreichen, damit durch dieselben jene Raumwerthe auf die Seele wirken könnten, und zwar bestehen diese Einrichtungen in der Beweg-

* Vergl. LOTZE a. a. O. pag. 366 ff.

lichkeit der flächenartig, nach zwei Dimensionen also selbst ausgebreiteten Retina, deren Mittelpunkt ein Punkt des deutlichsten Sehens ist, physiologisch nicht gleichwerthig mit den übrigen Punkten der Netzhaut.

55.

Den bisher in Betracht gezogenen Raum, nämlich eine senkrecht vor dem Auge stehende Ebene, können wir dargestellt oder vertreten denken durch die Breiten- und Höhencoordinate, die wir durch den fixirten Punkt, den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes gelegt denken, und wenn wir nun die dritte Dimension ebenfalls in Betracht ziehen, so räumen wir die Möglichkeit ein, dass jenes die beiden ersten Dimensionen vertretende Coordinatensystem nicht mehr, wie bisher, eine stets gleiche Entfernung, welche völlig gleichgültig war, vom Auge hat, sondern dass sein Nullpunkt, d. i. der direct gesehene Punkt auf einer zu jenen beiden senkrecht stehenden Tiefencoordinate verschiedene Oerter nach einander einnehmen kann. Mit anderen Worten: der Tiefenwerth, welchen wir in Betracht ziehen wollen, betrifft das ganze bisher berücksichtigte Gesichtsfeld oder die Breiten- und Höhencoordinate, und der Tiefenwerth dieser ist identisch mit dem Tiefenwerthe des direct gesehenen Punktes. Nur für diesen Punkt aber ist der Tiefenwerth identisch mit Entfernung; alle übrigen Punkte der beiden Coordinaten sind vom Auge weiter entfernt, als der Nullpunkt derselben, obwohl ihr Tiefenwerth gleich ist dem des fixirten Punktes. Vorläufig kommt es nur darauf an, denjenigen Punkt des Gesichtsfeldes, welcher in der Breiten- und Höhendimension den Beziehungspunkt bildet, den Nullpunkt der Scala, auf welchen alle bisher berücksichtigten Raumwerthe bezogen werden, diesen Punkt nun selbst in der dritten Dimension localisirt zu sehen, Einrichtungen am Sehorgan zu finden, durch welche die Entfernung dieses Punktes des Gesichtsfeldes einen Eindruck zu machen im Stande ist. Sind nur diese Einrichtungen vorhanden, so ist den Anforderungen einer räumlichen Anschauung nach drei Dimensionen für das ganze Gesichtsfeld genügt; denn alle übrigen Punkte desselben sind nur Beziehungen in den beiden ersten Dimensionen zu diesem Mittelpunkte, hat dieser in der Vorstellung einen Ort, so hat das ganze übrige flächenartige Gesichtsfeld, welches wir uns durch die beiden Coordinaten vertreten denken, einen Ort, und nun ist die Möglichkeit gegeben, dass die Seele durch Reflexion auf indirectem Wege auch zur Vorstellung der Entfernungen der einzelnen indirect gese-

henen Punkte des Gesichtsfeldes gelangen kann, eine Möglichkeit, welche unmittelbar darin liegt, dass sie den Tiefenwerth des direct gesehenen Punktes zugleich als den der ganzen Sehfeldfläche wahrnimmt.

Die Wahrnehmung der drei räumlichen Beziehungen ist nicht Etwas, was durch Uebung oder Erfahrung erlernt werden könnte; wäre sie nicht etwas von vorn herein, unmittelbar in der Organisation Begründetes, würden die fraglichen Vorstellungen nicht ein für alle Male durch Anregungen, die einen bestimmten Werth für die Seele haben, erzwungen, so würden wir eben so wenig jemals zu einer Raumanschauung gelangen können, wie wir die Wahrnehmung der Farben als solcher in ihrer Verschiedenheit je durch Erfahrung oder Uebung erlernen könnten. Wenn behauptet ist, dass wir zu der unmittelbaren Wahrnehmung der Breiten- und Höhendimension die der dritten durch Erfahrung und durch Unterstützung anderer Fähigkeiten hinzu lernten, so hat man dabei als Inbegriff dieser Wahrnehmung der dritten Dimension die Wahrnehmung aller der verschiedenen Entfernungen der einzelnen Punkte eines Gesichtsfeldes im Auge gehabt. Diese zu schätzen, und sie nach der Entfernung des direct gesehenen Punktes zu beurtheilen, erlernen wir gewiss erst, und es finden sich dazu mancherlei Hülfsmittel; aber wenn dies überhaupt möglich sein sollte, so musste zuerst der direct gesehene Punkt selbst überhaupt eine Entfernung haben, welche wir, um es allgemeiner auszudrücken, den Tiefenwerth nennen, da die Wahrnehmung dieser einen Entfernung zugleich eine für alle Punkte des bisher flächenartig gedachten Gesichtsfeldes geltende Bestimmung in sich tragen muss. Die Entfernung des direct gesehenen Punktes, den Tiefenwerth nach irgend einem Masse zu beurtheilen, abzuschätzen, ist auch Etwas, was wir erst erlernen müssen, aber die Vorstellung einer Entfernung überhaupt, die Vorstellung, dass ein Punkt sich jetzt dem Auge näher, im nächsten Augenblicke ferner befinden kann, diesen Begriff zu bilden ist nicht Etwas, was erlernt werden kann, sondern dies muss als unmittelbare Wahrnehmung, als Wahrnehmung eines Tiefenwerthes und der relativen Verschiedenheiten desselben, von vorn herein gegeben sein; dieses bildet für die Beurtheilung der Entfernungen die Grundbedingung, ohne welche in unserer Vorstellung eine dritte Dimension überhaupt fehlte.

Suchen wir nun nach Einrichtungen, welche ein mit einem Auge ausgerüstetes Sehorgan darbietet, vermöge welcher verschiedene Tiefenwerthe des direct gesehenen Punktes entsprechend verschiedene Eindrücke zu machen im Stande wären, so ist sogleich offenbar, dass

diejenigen Einrichtungen, welche wir für die Wahrnehmung der beiden anderen Dimensionen in Anspruch genommen haben, die Muskeln, welche die Retina mit ihrer oben hervorgehobenen Beschaffenheit zu bewegen vermögen, kein Mittel sein können, welches den Tiefenwerthen Zugang verschaffen könnte; ihre Leistungen sind durch das ihnen Zugeschriebene erschöpft. Zwar kann ein direct gesehenes Object, je nachdem es sich in grösserer oder geringerer Entfernung vom Auge befindet, darin verschieden erregen, dass die Intensität der Erregung, die Ausdehnung abnimmt beim Wachsen der Entfernung; indessen wir ziehen gar nicht ein Mal Objecte überhaupt in Betracht, sondern Punkte, welche immer eine Empfindungseinheit der Netzhaut erregen sollen; für diese würden also jene Verschiedenheiten gar nicht existiren können, und auch abgesehen davon kann die Wahrnehmung des Tiefenwerthes nicht an das zufällige Vorhandensein von nur möglichen, nicht aber unter allen Umständen nothwendigen Bedingungen geknüpft sein. Die Grösse des Sehwinkels bekannter Objecte, Unterschiede der Lichtintensität sind Momente, welche zu den Hülfsmitteln gehören, mittelst welcher wir, geleitet durch Erfahrung, Entfernungen schätzen und beurtheilen lernen, wenn wir einen festen Punkt, nach welchem wir beurtheilen können, haben; aber nach diesen Mitteln suchen wir nicht, sondern darnach, was zwingend anregt, unter allen Umständen, den Begriff der Entfernung und ihrer Unterschiede zu bilden. Es könnte nun scheinen, als fände sich auch hierfür an dem einen Auge eine Einrichtung anderer Art.

Der optische Apparat des Auges ist nicht geeignet, die physikalischen Bedingungen für das deutlichste Sehen unter denselben Verhältnissen für alle Entfernungen zu erfüllen; er bedarf einer Accommodation für verschiedene Entfernungen. So sehr nun dieser Umstand auch auf den ersten Blick geeignet scheinen mag, um dazu benutzt worden zu sein, die Unterschiede der Entfernungen des direct gesehenen Punktes zur Wahrnehmung zu bringen, so stellt sich doch bei genauerer Prüfung heraus, einerseits, dass dem wirklich nicht so ist, anderseits, dass der Umstand auch nicht der Art ist, dass wir von ihm die Erfüllung jenes Zweckes hätten erwarten können.

Unsere Raumanschauung setzt sich nicht so stückweise zusammen, wie wir uns die drei Dimensionen zerlegt und getrennt haben, sie ist ein Ganzes, und es wäre immerhin ein sehr auffallendes Factum, wenn die Vertretung der dritten Dimension einer ganz anderen, durchaus verschiedenen Einrichtung anvertraut worden wäre, als die ist, welche die beiden anderen Dimensionen repräsentirt. Durchaus verschieden aber müssen wir die Einrichtung, welche wir für die Vertre-

tung der Breiten- und Höhendimension beansprucht haben, von derjenigen nennen, durch welche die Accommodation des Auges als optisches Werkzeug bedingt ist, in jedem Falle, obwohl die letztere Einrichtung uns noch nicht mit Sicherheit bekannt ist, auch in dem Falle, dass das *primum movens* für die Accommodationsbewegungen von den äusseren Augenmuskeln, durch Druck z. B., ausginge. Noch weit weniger geeignet aber für die Erfüllung des in Frage stehenden Zwecks müssen solche Accommodationsbewegungen erscheinen, welche lediglich im Innern des Auges stattfinden. Die für physikalische Zwecke nothwendige Accommodation des Auges betrifft nur einen sehr geringen Theil aller der verschiedenen Entfernungen, zu deren Vorstellung wir gelangen. Für Entfernungen, welche mehr als 30 Meter betragen, bedarf das Auge fast keiner besonderen Accommodation mehr *, und es wäre daher unserer Anschauung der dritten Dimension eine sehr enge Gränze gezogen, wenn uns die Accommodationsbewegungen oder die Tendenz zu ihnen dazu verhelfen sollte, eine Gränze, welche keinesweges vorhanden ist. Innerhalb der Entfernungen, welche Accommodationsbewegungen verlangen, mögen uns diese ein Hülfsmittel sein, in Bezug auf eine bestimmte unmittelbar wahrgenommene Entfernung, in Bezug auf einen Tiefenwerth, andere Entfernungen zu beurtheilen, eben so, wie die schon erwähnten Momente; aber die Unzulänglichkeit dieser Einrichtung für die Wahrnehmung aller der Entfernungen, deren wir uns bewusst werden können, muss den Gedanken schon zurückweisen, dass sie mehr, als ein solches Hülfsmittel sei. Ich werde weiter unten an einen bekannten Versuch erinnern, welcher schlagend beweis't, wie wenig oder Nichts selbst da, wo grosse Unterschiede der Accommodation noch stattfinden, diese für die Vorstellung von Entfernungen zu leisten vermag, wenn die unmittelbare Wahrnehmung, wie sie in der zu suchenden Einrichtung begründet ist, unabweisbar und zwingend eine Vorstellung verlangt, der wir uns nicht ein Mal durch Reflexion, nicht durch das deutlichste Bewusstsein des Irrthums entziehen können.

Ein Sehorgan, wie wir es bisher vorausgesetzt haben, bietet keine Einrichtungen dar, die dritte Dimension zu vertreten, nur ein flächenartiger Raum konnte für ein solches Sehorgan existiren. Sollte es einen Eindruck hervorrufen, wenn der direct gesehene Punkt sich vom Auge entfernt oder sich ihm nähert, sollte überhaupt der Begriff

* Vergl. Listing, Artikel „Dioptrik des Auges" in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie, pag. 500 und Czermak a. a. O. §. 1.

einer Entfernung des bisher betrachteten flächenartigen Sehfeldraumes vorhanden sein, so mussten Bewegungen nothwendig sein, um bei wechselndem Tiefenwerthe immer den Punkt des deutlichsten Sehens der Erregung auszusetzen, Bewegungen analoger Art, wie diejenigen, welche Breiten- und Höhendimensionen vertreten. Damit haben wir die für die Raumanschauung wichtigste Eigenschaft eines mit zwei beweglichen Augen ausgerüsteten Sehorgans bezeichnet. Wir können behaupten, dass alle Leistungen des Gesichtssinns, deren wir uns bewusst sind, zu realisiren waren durch ein mit einem Auge versehenes Sehorgan, bis auf eine einzige, eben die unmittelbare Wahrnehmung der dritten Dimension. Mag die Doppelheit des Auges dem Gesichtssinne auch in anderer Beziehung dienen und nützlich sein; postulirt war dieselbe nur durch die dritte Dimension, und zwar nicht so sehr und nicht zunächst die Doppelheit der erregbaren Retina, als vielmehr die Doppelheit des Bewegungsapparats des erregbaren Theiles, die dann freilich nicht ohne Doppelheit zugleich der Retina und des ganzen übrigen Auges möglich war; aber die Doppelheit dieser Theile darf hier angesehen werden als das Mittel zur Erreichung des eigentlichen Zweckes, der Doppelheit des Bewegungsapparats. Hierin liegt es nun auch schon ausgesprochen, dass die blosse Doppelheit des Auges unter allen Umständen, ohne nähere Bestimmungen auch noch keinesweges zur Erfüllung jenes Zweckes geeignet gewesen sein würde, sondern dass noch einige weitere Anforderungen gestellt werden müssen. Besässen wir zwei Augen, deren Gesichtsfelder immer nur aneinander gränzten oder durch einen Zwischenraum getrennt wären, so würde ein solches Sehorgan uns für die Raumanschauung nicht mehr leisten, als was ein einziges Auge leistet; für jedes Auge existirte ein flächenartiger Raum. Ein binoculares Sehorgan kann für den in Frage stehenden Zweck nur dann nützen, wenn ein und derselbe Raumpunkt zugleich beide Netzhäute, d. h. zwei Punkte des peripherischen Theiles des Sehorgans zu erregen vermag, denn eben damit ist erst der Anforderung Genüge geleistet, dass für jeden Tiefenwerth ein besonderer Bewegungscomplex des peripherischen Theiles erheischt wird, um den Punkt des deutlichsten Sehens desselben der Erregung gegenüber zu stellen. Die Gesichtsfelder der beiden Augen, welche letztere zusammen den peripherischen Theil des einzigen Sehorgans ausmachen, müssen daher zusammenfallen können, und zwar so weit, dass ein Punkt aus allen den Entfernungen, welche wir wahrnehmen sollen, gleichzeitig die beiden Mittelpunkte der Netzhäute erregen kann. Gesetzt nun aber, die Erregung der beiden Mittelpunkte hätte die Vorstellung von zwei

Anforderung erfüllt zu sein scheinen, denn wir haben oben gesehen, dass, damit das ganze flächenartige, durch die Breiten- und Höhencoordinate repräsentirte Gesichtsfeld in irgend einer Entfernung wahrgenommen werde, damit es einen Ort habe, eine Einrichtung hinreichte, vermöge deren nur der Tiefenwerth des Nullpunktes jener beiden Coordinaten wahrgenommen wird, durch welche nur dieser einen bestimmten Ort erhält; denn alle übrigen Punkte jener Fläche waren Beziehungen zu diesem einen. Dabei musste nun aber natürlich stillschweigend vorausgesetzt werden, dass die Wahrnehmung dieser Beziehungen, die Raumanschauung in den beiden ersten Dimensionen, wie sie ein Auge vermittelt haben würde, nicht durch eine derartige Einrichtung gestört oder aufgehoben werden durfte; denn sobald dieser Fall eintrat, so schwand damit das, was schon das bewegliche eine Auge leistete, nämlich ein flächenartiges Gesichtsfeld, und es nützte dann also auch eine Einrichtung wenig, welche die Wahrnehmung einer räumlichen Beziehung dieses ganzen flächenartigen Gesichtsfeldes vermitteln sollte: ihr Nutzen reducirte sich ausschliesslich auf den fixirten Punkt, und dieser hat immer ein und denselben Breiten- und Höhenwerth, und seine Bedeutung als Nullpunkt eines die vorausgesetzten wahren Raumwerthe vertretenden Coordinatensystems würde wegfallen mit diesem selbst. Wenn nun alle Punkte, welche in jenem flächenartigen Gesichtsfeldsraume liegen, doppelt gesehen würden mit Ausnahme allein des fixirten Punktes, so würde damit die Anschauung in der Breitendimension gestört, aufgehoben sein; denn die beiden einem Object entsprechenden Bilder würden jedes einen besonderen Breitenwerth in der Vorstellung besitzen, wie es bei allen Doppelbildern der Fall ist; welcher von diesen sollte der richtige sein, welcher den wahren Raumwerth vertreten? Es ergiebt sich, dass es nicht hinreichte, dass nur der fixirte Punkt einfach gesehen wird, sondern dass, wenn nicht durch die um der dritten Dimension willen geschaffene Einrichtung, nämlich durch die Doppelheit des Auges, die Anschauung in den beiden ersten Dimensionen, die bei einem Auge vollkommen vorhanden war, wieder aufgehoben sein sollte, in welchem Falle dann auch wiederum der Nutzen derselben Einrichtung ein sehr geringer gewesen sein würde, das diese beiden Dimensionen vertretende flächenartige Gesichtsfeld grade so, unverändert vorhanden sein musste, wie es vorher der Fall war, als wir die Existenz von nur einem Auge voraussetzten. Mit anderen Worten, alle Punkte des flächenartigen Gesichtsfeldraumes mussten, wie der fixirte Punkt selbst, einfach gesehen werden.

Dies flächenartige Gesichtsfeld aber, oder die Ebene im Raume,

welche durch die im fixirten Punkte sich rechtwinklig schneidenden Breiten- und Höhencoordinate bestimmt ist, welche bei dem binocularen Sehorgane nicht, wie vorher bei einem Auge, rechtwinklig auf der Sehaxe desselben, sondern rechtwinklig zu der Linie steht, welche die Mitte der Grundlinie mit dem fixirten Punkte verbindet, stellt auf ihrem horizontalen Durchschnitte oder in der Breitencoordinate selbst nichts Anderes vor, als den ursprünglichen Horopter des Aguilonius; es ist die Linie, oder mit Hinzunahme der Höhendimension die Ebene, *quae visum finit ac terminat;* und in der That lassen sich die ihr in Bezug auf die Raumanschauung zukommenden wichtigen Eigenschaften nicht besser und bündiger zusammenfassen, als in den Worten des Aguilonius: *quidquid conspicitur, id omne in horoptere verum vel apparentem habet locum.* Das Wesen unserer Anschauung der dritten Dimension besteht darin, dass wir im Stande sind, nacheinander die verschiedenen Tiefenwerthe dieses Horopters unmittelbar wahrzunehmen, und somit also das, was wir jetzt im Horopter nur an einem scheinbaren Orte wahrnehmen, durch Veränderung des Fixationspunktes an seinem wahren Orte zu sehen. Der Horopter bildet in unserem Gesichtsfelde eine Beziehungsfläche, so wie der fixirte Punkt einen festen Beziehungspunkt im Horopter; jener hat einen wirklichen unmittelbar wahrgenommenen Ort, und nun besitzen wir mancherlei Hülfsmittel, deren Gebrauch und Verwerthung wir durch Uebung und Erfahrung erlernen, durch welche wir in den Stand gesetzt sind, ausgehend von dem Tiefenwerthe des Horopters wie von einem festen, bestimmten Punkte andere Entfernungen gleichzeitig wahrzunehmen und zu beurtheilen. Es wird berichtet von einem operirten Blindgebornen, dass er anfangs Alles wie auf einer Fläche gemalt gesehen habe; dies ist ganz übereinstimmend mit unserer Betrachtung: er sah Alles im Horopter selbst liegen und war noch nicht im Stande einen wahren Ort von einem scheinbaren zu unterscheiden, wozu er erst allmählich den passenden Gebrauch der sich darbietenden Hülfsmittel erlernen musste; aber er sah Alles an einem Orte überhaupt, er sah einen Horopter, er hatte mit einem Worte von vorn herein beim Sehen mit beiden Augen die Vorstellung der dritten Dimension, welche nicht erlernt werden kann.

Dass nun dieser Anforderung, die für die Raumanschauung hinsichtlich der Identität der Netzhäute gestellt werden muss, welche Aguilonius schon gestellt hatte, so weit wirklich Genüge geleistet ist, wie es andere noch dabei in Betracht kommende Verhältnisse erlaubten, haben wir oben nachzuweisen versucht. Der Horopter ist in der Primärstellung und in allen Secundärstellungen der Augen eine

Ebene, welche senkrecht zu der die Mitte der Grundlinie mit dem fixirten Punkte verbindenden Linie steht; dass dies nicht bei allen Augenstellungen der Fall sein konnte, ist begründet in den mechanischen Verhältnissen bei den Augenbewegungen, in demjenigen Bewegungsprincipe selbst, an welches die Erfüllung der fraglichen Anforderung, so weit sie überhaupt möglich, geknüpft ist. Dasselbe, was schon oben vom Horopter in seiner einen Beziehung bemerkt wurde, gilt nun auch hier hinsichtlich seiner Beziehung zur Raumanschauung, dass nämlich das, was wir Gesichtsfeldfläche, gleichbedeutend mit Horopter, genannt haben, je mehr die Entfernung desselben wächst, desto mehr sich von dem Begriffe einer Ebene entfernt; im Raume hat das, was für uns ein Horopter, eine Ebene ist, eine Ausdehnung in der dritten Dimension, welche mit dem Tiefenwerthe des Horopters zunimmt. Je kleiner der Convergenzwinkel der Sehaxen wird, desto grösser müssen die Differenzen der wirklichen Tiefenwerthe sein, damit sie noch wahrgenommen werden.

Wollen wir schliesslich die Grundlage unserer räumlichen Anschauung zusammenfassen, welche wir durch unmittelbare Wahrnehmung haben, welche in, bestimmten Erregungszuständen immer und mit unbedingter Nothwendigkeit folgenden, Vorstellungen besteht, so ist es die Fähigkeit, den Raumwerth nach drei Dimensionen von allen den Punkten wahrzunehmen, welche in einer durch den fixirten Punkt gelegten Ebene liegen, die senkrecht zur der die Mitte der Grundlinie mit dem fixirten Punkte verbindenden Linie steht, der Punkte also, welche im Horopter liegen. War dies gegeben, so konnten alle jene Umstände, welche wir als Hülfsmittel für eine weitere Ausbildung der Raumanschauung benutzen, als: die Perspective, die Winkelgrösse der Objecte, die Lichtintensität, der Grad der Deutlichkeit oder Undeutlichkeit eines Gesichtseindrucks bedingt durch den Accommodationszustand der Augen, verwendet werden zur Beurtheilung von Entfernungen in Bezug auf eine bestimmte in der Vorstellung vorhandene, wie nach einem unmittelbar gegebenen festen Punkte.

56.

Der unbedingte Zwang, mit welchem das für die unmittelbare Wahrnehmung der dritten Dimension in Anspruch genommene Moment, um es kurz auszudrücken, der Convergenzzustand der Sehaxen eine bestimmte Vorstellung zur Folge hat, lässt sich durch einen Versuch nachweisen, welcher die diesem Moment ausschliesslich zuge-

schriebene Bedeutung recht deutlich ins Licht treten lässt. Ich habe schon oben auf diesen Versuch hingedeutet, welcher ein sehr bekannter ist, nämlich ein steroskopischer Versuch.

Steht man z. B. vor einer durch ihr Muster übrigens für den Versuch geeigneten Tapete und lässt man die Sehaxen auf einen näheren Punkt convergiren, so gelangen alsbald die beiden nach Innen gelegenen Doppelbilder des Tapetenmusters zur Deckung, und man sieht ein einfaches, stereoskopisches Bild in der Mitte. Anfangs ist dies Bild verwaschen und undeutlich; ganz allmählich aber nimmt es an Deutlichkeit und Schärfe zu, bis es endlich in überraschender, scheinbar selbst die Wirklichkeit übertreffender Klarheit vor dem Blicke schwebt. Aber das Bild befindet sich nicht da, wo die Tapete ist, nicht da, wo die beiden äusseren Doppelbilder des Musters zu liegen scheinen, sondern es schwebt ganz nahe vor den Augen, dort, wo der (ideale) fixirte Punkt liegt. Den Tiefenwerth dieses Raumpunktes nehmen wir unmittelbar wahr, und dieser knüpft sich, wie immer, an das in der Vorstellung unter Mitwikung beider Augen einfach vorhandene Object, an das stereoskopische Bild. Der Vorgang bei diesem Versuche ist folgender: Die mit der Convergenz der Sehaxen gewöhnlich Hand in Hand gehende Accommodation ist anfangs für den naheliegenden Fixirpunkt eingerichtet; unter diesen Umständen sind die Augen also nicht für die Entfernung, in welcher die Tapete sich befindet, eingerichtet, die Bilder der Tapete, auch das stereoskopische, erscheinen in Zerstreuungskreisen. Ein eigenthümliches und unbewusstes Bestreben löst nun allmählich die Verbindung, den Consensus der Accommodations- und Convergenzbewegungen, die Accommodation der Augen emancipirt sich von der Raumbewegung derselben und richtet den dioptrischen Apparat nach und nach für die Entfernung ein, in welcher sich die Tapete befindet*. Haben wir die Erscheinung in voller Klarheit, was indessen nicht Jedem sogleich gelingt, so ist also eine Accommodation für eine weit beträchtlichere Entfernung vorhanden, als die ist, für welche die Sehaxen convergiren. Das stereoskopische Bild aber sehen wir unbedingt und ganz deutlich in der Entfernung des Convergenzpunktes schweben, man meint, es liesse sich die Hand hinter demselben durchführen; zu dieser Vorstellung werden wir unabweisbar gezwungen, obwohl nicht nur der Accommodationszustand, wenn er hier Etwas lehren könnte, etwas ganz Anderes lehren würde, sondern wir sogar mit Bestimmtheit wissen, und

* Vergl. über andere Versuche einer Lösung des Zusammenhanges der Accommodations- und Convergenzbewegungen Czermak a. a. O. §. 3.

im vorhergehenden Augenblicke unmittelbar sahen, dass sich dort, wo wir das Bild wahrnehmen, Nichts befindet, dass die Tapete viel weiter entfernt ist. Eine Täuschung ist es, dass wir das stereoskopische Bild so nahe sehen, aber diese Täuschung ist eben in Wahrheit vorhanden, sie ist nicht selbst eine Täuschung.

Ja nicht nur die Vorstellung der als falsch uns vollkommen bewussten Entfernung wird uns durch die Convergenz der Sehaxen so gebieterisch aufgedrungen, sondern noch eine sehr auffallende Vorstellung. Das stereoskopische Bild ist ein Miniaturbild des Tapetenmusters. Die Interpretation dieses Factums liegt nach dem vorher Besprochenen nahe. Die Winkelgrösse aller vier Retinabilder des Tapetenmusters ist gleich; da wir aber mit der Wahrnehmung der beiden mittleren sich deckenden Bilder die Vorstellung einer weit geringeren Entfernung zu verbinden gezwungen sind, so führt dies die Vorstellung nach sich, dass das diesem Bilde entsprechende ideale Object, als dieselbe Winkelgrösse besitzend, wie ein in grösserer Entfernung gelegenes, kleiner sein müsse, als das entferntere. Diese ebenfalls unabweisbar uns aufgedrungene Vorstellung ist also eine Folge der ersteren, nämlich der der geringeren Entfernung des fixirten Punktes, und daher ein neuer und überzeugender Beweis für die Bedeutung, die wir den Convergenzbewegungen der Augen für die räumliche Anschauung vindiciren.

Der Versuch kann in manchfacher Weise variirt werden; nur darf man keine stereoskopischen Apparate anwenden, welche überhaupt einen Theil der wunderbaren Erscheinungen beim stereoskopischen Sehen völlig verdecken: die einfachsten Mittel leisten auch hier, wie immer, das Beste; auch ist es gut, nicht ein wirkliches Object zu fixiren, sondern die Sehaxen nur gegen einen idealen Punkt convergiren zu lassen, die Erscheinungen sind dann so rein, als möglich vorhanden. Bei allen auf diese Weise ganz frei ausgeführten Versuchen sind die beiden Vorstellungen vorhanden, nämlich Uebertragung der Entfernung des fixirten Punktes auf das stereoskopische Bild und die scheinbare Verkleinerung dieses Bildes im Gegensatze zu den beiden übrigen Doppelbildern. Kurzsichtigen gelingt dieser Versuch aus leicht ersichtlichen Gründen schwer oder nicht vollkommen; wogegen es für Weitsichtige, denen er sehr gut gelingt, überraschend in der Erscheinung ist, da sie nicht gewohnt sind, Objecte scharf und deutlich in so grosser Nähe zu sehen, in welcher das stereoskopische Bild sich befindet.

Die Umkehrung des Versuches lehrt ganz das Nämliche in entsprechend umgekehrter Weise. Verschafft man sich ein stereoskopi-

sches Bild statt aus zwei rechtseitigen, wie eben, aus zwei verkehrten Doppelbildern, indem man die Sehaxen auf einen weit entfernten Punkt richtet, so erscheint das stereoskopische Bild in weiter Entfernung, bei abwärts geneigten Augen z. B. wie in einem tiefen Brunnen, und seine scheinbare Grösse übertrifft die der beiden übrigen Doppelbilder bedeutend. Hierbei muss ich indessen bemerken, dass, wenn die Unterschiede zwischen der Entfernung des fixirten Punktes und der die verkehrten Doppelbilder liefernden Objecte bedeutend ist, die Emancipation der Accommodation von der Convergenz nicht vollständig gelingt; überhaupt hat es mir geschienen, als ob diese Emancipation dann leichter vor sich geht, wenn sie behufs Einrichtung für grössere Entfernung geschehen soll, beim Stereoskopiren also mit rechtseitigen Doppelbildern; schwerer dagegen, wenn sie behufs Einrichtung für grössere Nähe stattfinden soll, beim Stereoskopiren mit verkehrten Doppelbildern. Der Grund dafür scheint darin zu liegen, dass wahrscheinlich allein die Accommodation für geringere Entfernungen eine active ist, die für weitere eine passive, in einem blossen Nachlassen bestehend; letzteres würde Obigem zu Folge leichter von dem Consensus mit den Augenbewegungen zu lösen sein, als die active Accommodation. Die erwähnte Umkehrung des Versuches gelingt Weitsichtigen schwer oder nicht, Kurzsichtigen dagegen leichter, und es muss für sie die Erscheinung ebenfalls etwas Auffallendes haben, da sie nicht gewohnt sind, sehr entfernte Objecte scharf und deutlich zu sehen.

Für alle stereoskopischen Versuche gilt noch folgende Bemerkung, welche vielleicht schon Mancher gemacht hat, ohne sich des Grundes bewusst zu werden, wie es auch mir ergangen war: die Versuche gelingen bei der gewöhnlichen Anordnung der beiden Zeichnungen oder Objecte, wenn man genau Acht giebt, vollkommen nur bei abwärts geneigten Sehaxen: sie gelingen am vollkommensten bei 45° abwärts geneigten Sehaxen und der Grund ist aus den Ergebnissen der obigen Versuche von selbst einleuchtend. Die Verschiebung, welche bei allen anderen Neigungen der Sehaxen, die Doppelbilder gegen einander besitzen, die freilich meist nur sehr gering ist, kann man sehr deutlich und auffallend wahrnehmen, wenn man versucht, bei stark aufwärts geneigten Sehaxen zwei Doppelbilder zur Deckung zu bringen. Man kann indessen dadurch, dass man den zu dem Versuche verwendeten Zeichnungen oder Objecten bestimmte Neigungen gegeneinander ertheilt den durch die Drehungen um die optische Axe bewirkten Verschiebungen der Doppelbilder entgegenwirken und sie compensiren, so dass die Versuche unter genauer und

für jede Augenstellung besonderer Berücksichtigung dieses Verhältnisses auch bei jeder Augenstellung vollständig gelingen können.

57.

In den angeführten Versuchen kann, scheint es, ein experimenteller Beweis gesehen werden für das, was wir aus theoretischen Gründen für die unmittelbare Wahrnehmung der dritten Dimension gefolgert haben, wobei jedoch die Bemerkung noch ein Mal wiederholt sei, dass wir allen den Momenten, welche gewöhnlich ausser der Convergenz der Sehaxen als mit dieser gleichwerthige Mittel zur Raumanschauung aufgeführt werden, keinesweges ihre oben angedeutete Bedeutung absprechen für unsere gleichsam praktische Raumanschauung; nur können wir sie nicht für gleichen Ranges halten mit derjenigen Einrichtung am Sehorgane, welche, nicht erst durch Erfahrung geleitet, unter günstigen Umständen, oder überhaupt nur hie und da unterstützend und erweiternd bei der Raumanschauung mitwirkt, sondern welche für die in der dritten Dimension die Grundlage bildet, an welche die Existenz derselben in der Vorstellung geknüpft ist, indem sie vermöge eines physiologischen Mechanismus unbedingt die Bildung bestimmter Vorstellungen veranlasst. Die Psychologie verlangt das Vorhandensein einer solchen Einrichtung, wie sie in dem Bewegungsapparate liegt, welcher mit dem peripherischen Theile des Sehorgans verbunden ist.

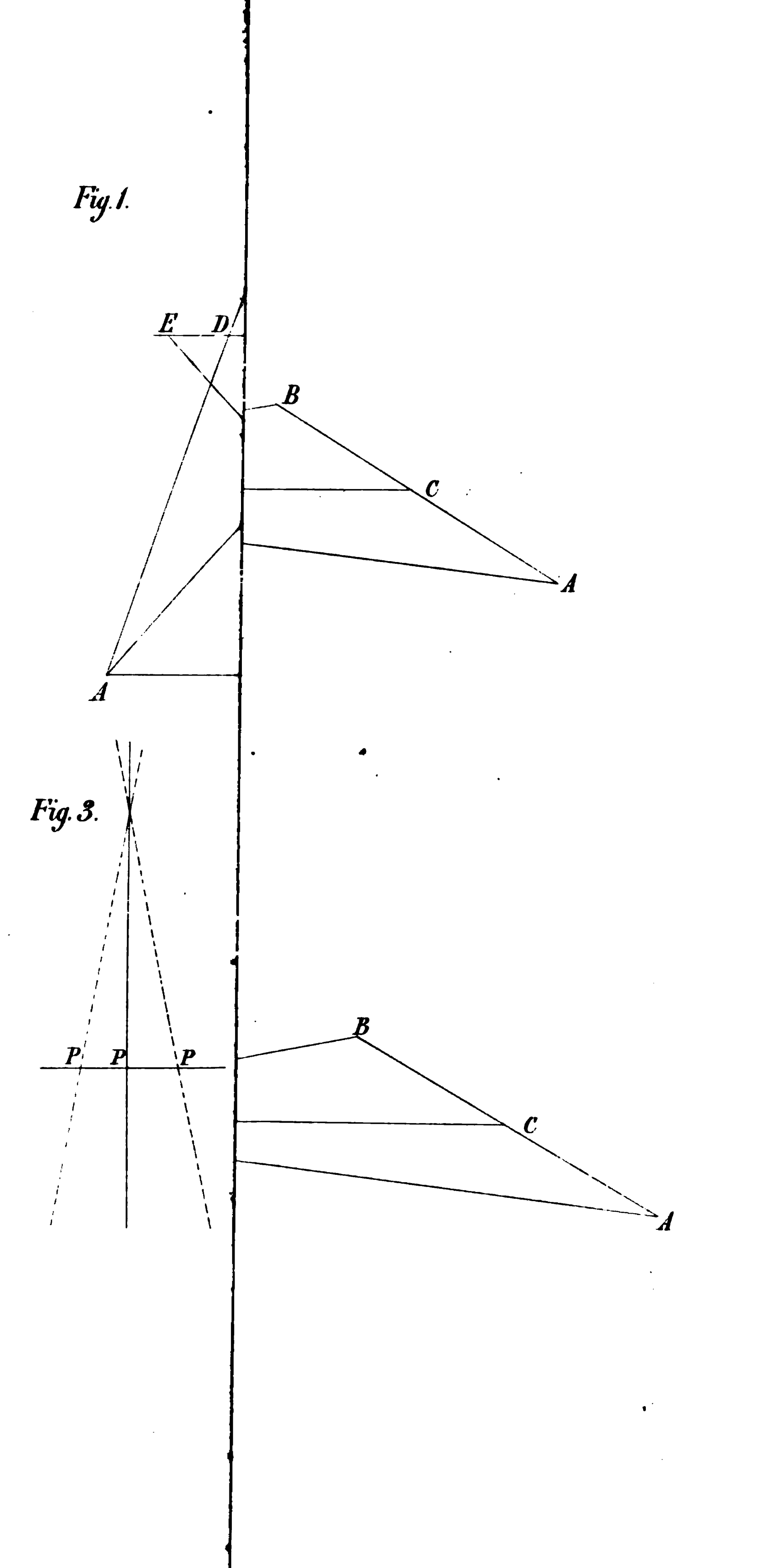
Die Erfahrungen, welche wir beim Sehen mit einem Auge machen, widersprechen nicht im Geringsten dieser Theorie der Raumanschauung. Ich will kaum erinnern an die häufigen und auffallenden Täuschungen, denen wir in der Beurtheilung von Entfernungen selbst in nächster und ganz bekannter Umgebung unterliegen, wenn das eine Auge geschlossen ist; wir können zwar mit Hülfe dessen, was die Erfahrung gelehrt hat, mit Hülfe der oben angeführten Umstände schätzen, dass dies Object ferner ist, als jenes, wir haben nicht den crassen Eindruck einer blossen Fläche, und können ihn begreiflicherweise zu haben nicht verlangen, doch aber werden wir uns eines besonders bei länger fortgesetztem und in unbekannter Umgebung angestelltem Versuche auffallenden Unterschiedes vom binocularen Sehen sehr wohl bewusst; es fehlt in dem ganzen Sehfeldraume ein bestimmter Ort, ein fester Punkt, nach welchem wir uns orientiren könnten, es fehlt ein Horopter mit einem Worte, *qui visum finit ac terminat.*

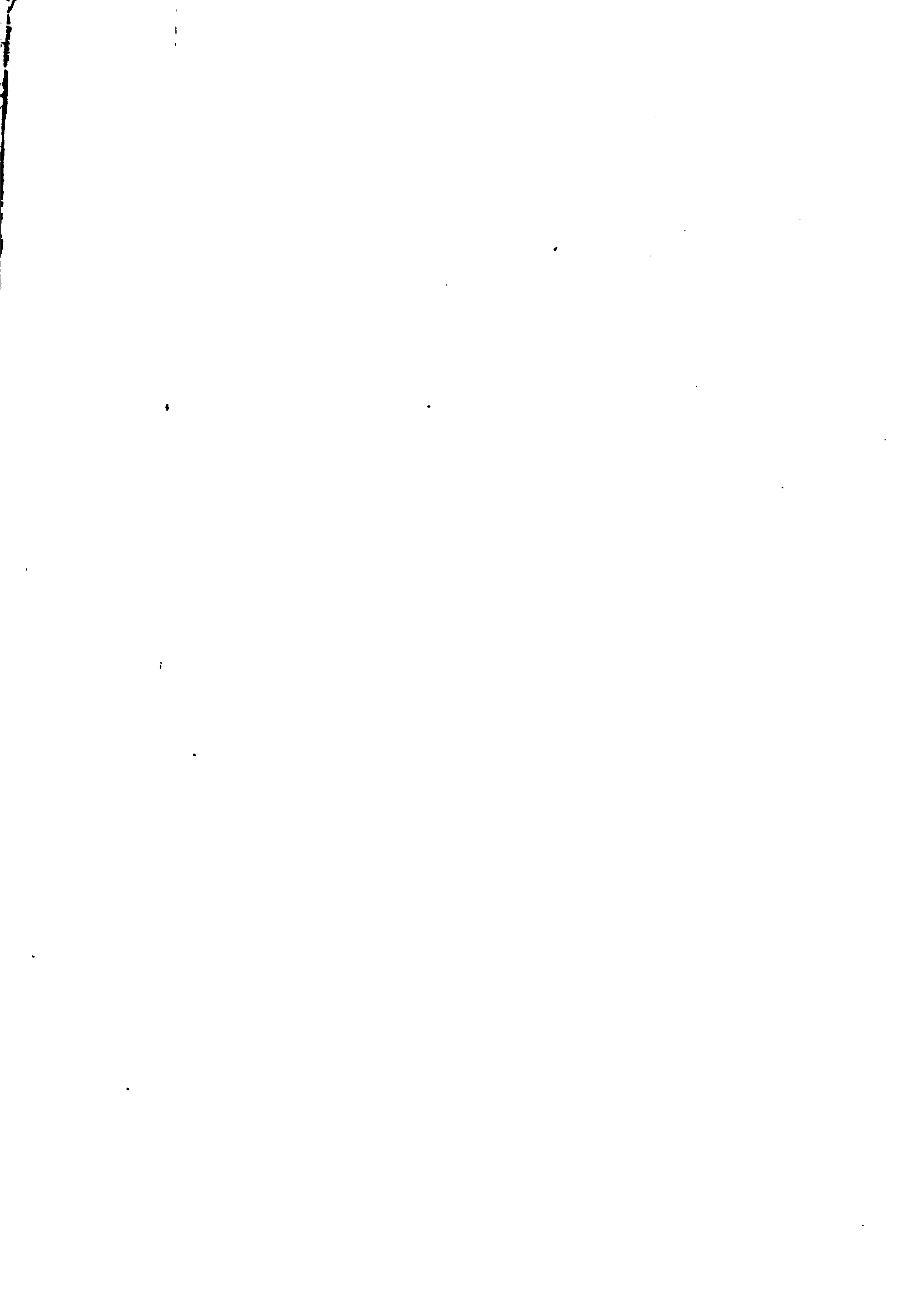
Hieran ist nun endlich noch die Beantwortung der früher ange-

regten Frage nach dem Orte der Doppelbilder zu knüpfen. Ein Doppelbild ist eine allein durch ein Auge vermittelte Wahrnehmung. Nennen wir nun Ort die Localisation eines Eindrucks nach drei Dimensionen, so haben die Doppelbilder keinen Ort, denn wir haben gesehen, dass alle qualitativen Eindrücke, zu denen die Erregung nur eines Auges die Veranlassung ist, in der Vorstellung nicht mit einem Tiefenwerthe ausgestattet sind. Jedes Doppelbild hat einen Breiten- und Höhenwerth, aber dies sind seine einzigen räumlichen Beziehungen. Handelt es sich nun aber darum, diesen Breiten- und Höhenwerth eines Doppelbildes zu bestimmen, so heisst das nichts Anderes, als ihm einen Ort, den scheinbaren Ort, in der Horopterfläche anweisen. Jene beiden Werthe sind Beziehungen zu dem fixirten Punkte in der Horopterfläche, und es ist daher vollkommen richtig, um die Entfernung der Doppelbilder von einander zu messen, den Ort derselben dort anzunehmen, wo die betreffenden Richtungslinien den Horopter schneiden; einen wahren Ort haben die Doppelbilder nicht, sondern nur einen scheinbaren, und ein scheinbarer Ort bezieht sich eben stets auf die jeweilige Horopterfläche. Es wird nach dem Vorausgegangenen nicht paradox in Bezug auf das Letzte erscheinen können, wenn wir im Stande sind, nach den Doppelbildern, z. B. durch perspectivische Verhältnisse, oder durch die Grösse der Zerstreuungskreise u. s. w. einen Schluss auf die wirkliche Entfernung des Objects, welches in Doppelbildern erscheint, zu machen, so wie z. B. auch in den angeführten stereoskopischen Versuchen die beiden äusseren Doppelbilder in grösserer Entfernung zu liegen scheinen, als das stereoskopische Bild, welches im Horopter erscheint: letzteres allein hat einen wahren, direct wahrgenommenen Ort in der Vorstellung, worin eben die oben besprochene Täuschung besteht; durch Erfahrung dagegen und andere Hülfsmittel, deren ich oben gedachte, sind wir im Stande, den nur scheinbaren Ort des Doppelbildes als solchen zu erkennen und aus ihm auf den wahren Ort des doppelt gesehenen Objects zu schliessen.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

Taf. I.







Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.


COUNTWAY LIBRARY
HC 21GA F

